الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية العلوم - قسم الجيولوجيا

الكشف عن نطاقات الرشح في سد سهوة الخضر- محافظة السويداء باستخدام الطرائق الجيوفيزيائية

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الجيوفيزياء

إعداد الطالب
أديب عبد الرؤوف غبور

بإشراف
أ. م . د محسن سعيد
أ. م . د نضال شقير

لجنة الحكم

الأستاذ الدكتور: حكمت محمد - جامعة البعث رئيساً

الأستاذ الدكتور: محسن سعيد - جامعة دمشق عضواً ومشرفاً

الأستاذ الدكتور: زياد سلوم - جامعة دمشق عضواً

إلى أمي الحبيبة

إلى أسرتي وعائلتي الكبيرة

إلى أصدقائي وإلى كل من ساعدني

كلمة شكر

في مقدمة هذا العمل يشرفني أن أتقدم بجزيل الشكر وخالص التقدير إلى أعضاء الهيئة التدريسية في جامعة دمشق، وأخص بالشكر الجزيل والعرفان بالجميل للأستاذ الدكتور **محسن سعيد** الذي تفضل بالإشراف على هذه الرسالة وأحاطني بالرعاية والعناية ومدني بالعلم الواسع وقدم لي الكثير من وقته الثمين خلال إعداد هذا العمل، كما ولا أنسى أن أقدم شكري الكبير إلى الأستاذ الدكتور **نضال شقير** على تفضله بالمشاركة في الإشراف على رسالتي وعلى ما قدمه لي من معلومات ونصائح ثمينة.

أود أن أقدم شكري الكبير أيضاً للأساتذة الدكتور **حكمت محمد** والدكتور **زياد سلوم** وإلى أساتذة **قسم الجيولوجيا** ممثلين بالأساتذة الدكتور **مروان الشرع** والدكتور **عامر غبرة**.

أشكر كل العاملين في مديرية الشؤون الفنية في الهيئة العامة للموارد المائية على ما قدموه لي من مساعدات ونصح كان له عظيم الأثر في النتائج التي تم الوصول إليها.

شكري الخاص للعاملين في موارد المياه المائية- فرع السويداء على كل ما قدموه من مساعدات وإرشادات قيمة.

الشكر الكبير لأهالي قرية سهوة الخضر على ما أحاطوني به من رعاية وكرم وحفاوة، وعلى معاملتهم لي كابن من أبنائهم.

أديب عبد الرؤوف غبور

المحتويات	رقم الصفحة

1. المقدمة

يتمتع قطاع المياه في العالم العربي بأهمية إستراتيجية بالغة، وتزداد هذه الأهمية في سوريا نظراً لموقعها في المناطق الجافة وشبه الجافة من جهة، وازدياد الطلب على المياه يوم بعد يوم من جهة ثانية، كما أن النمو المتزايد في عدد السكان في سوريا والتوسع العمراني المستمر وما يرتبط به من نمو اقتصادي أدى بشكل عام إلى استنزاف الموارد المائية وظهور العجز في هذه الموارد لدرجة أصبح فيها توفر المياه لفترة طويلة الأمد أمراً صعباً ومحفوفاً بالمخاطر .

وضعت سياسات وبرامج متعددة لتطوير قطاع المياه في سوريا، بغية مواجهة هذا الوضع المتفاقم والتحديات الناتجة عن شح المياه ، والاستفادة ما أمكن من المياه السطحية ومياه السدود، حيث تم التوجه في السنوات الأخيرة إلى الاستفادة من مياه السيول والأنهار الموسمية وتحديد أفضل الأماكن لإقامة السدود التخزينية بمختلف حجومها بغية تخزين هذه الثروة والاستفادة منها لأقصى درجة ممكنة.

بناءً على ما سبق برزت في السنوات الأخيرة أهمية وجود دراسات وتحريات أولية تسبق إنشاء المنشآت المائية وعلى وجه الخصوص الدراسات الجيوفيزيائية الحقلية التي تنفذ قبل و حتى بعد إنشاء السدود، وذلك للوقوف على الواقع الجيولوجي ومعرفة خصائص الصخور التي تقام عليها هذه المنشآت، ومراقبة التغيرات الطارئة بعد التنفيذ.

2. هدف الدراسة

تعاني معظم سدود المنطقة الجنوبية في سوريا من مشكلة ضياع كميات كبيرة من المخزون المائي عن طريق التسرب والرشح، ويرتبط حجم هذه المشكلة بشكل رئيسي بالوضع الجيولوجي لصخور المنطقة التي يقام عليها جسم السد وبحيرة التخزين.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد النطاقات الراشحة في سد سهوة الخضر – أحد سدود المنطقة الجنوبية بمحافظة السويداء، ويشار هنا إلى أن تنفيذ هذا العمل تم بالتعاون مع الهيئة العامة للموارد المائية- مديرية الشؤون الفنية، حيث تم توجيه الأعمال إلى قطاعات محددة في سد سهوة الخضر مشار إليها من قبل الفنيين المختصين في المديرية يعتقد بأنها تتضمن أماكن أو نطاقات راشحة تؤدي لضياع قسم كبير من مخزون السد ويعد أهم هذه القطاعات الكتف الغربي.

تشير المعلومات المتوفرة من مديرية الشؤون الفنية في الهيئة العامة للموارد المائية على وجود نطاقات راشحة يصعب تحديد طبيعتها أو توصيفها، تؤدي في السنوات المطيرة إلى انخفاض منسوب المياه في البحيرة إلى ما دون نصف مستوى التخزين الأعظمي، من أجل ذلك نفذت هذه الدراسة باستخدام طرق جيوفيزيائية مختلفة منها الطرائق الجيوكهربائية ، والطريقة السيزمية الإنكسارية للتحري عن أماكن النطاقات الراشحة في جسم السد وأكتاف بحيرة التخزين .

3. الوضع الطبوغرافي والمائي والجيولوجي والتكتوني لموقع الدراسة

يقع سد سهوة الخضر في محافظة السويداء إلى الجنوب من قرية سهوة الخضر، وعلى بعد 2 كم تقريباً منها ، وتبين الصورة الفضائية الآتية الموقع العام لسد سهوة الخضر والتلال المحيطة .



الشكل 1 : صورة فضائية للموقع العام

.3.1 الوصف العام للسد

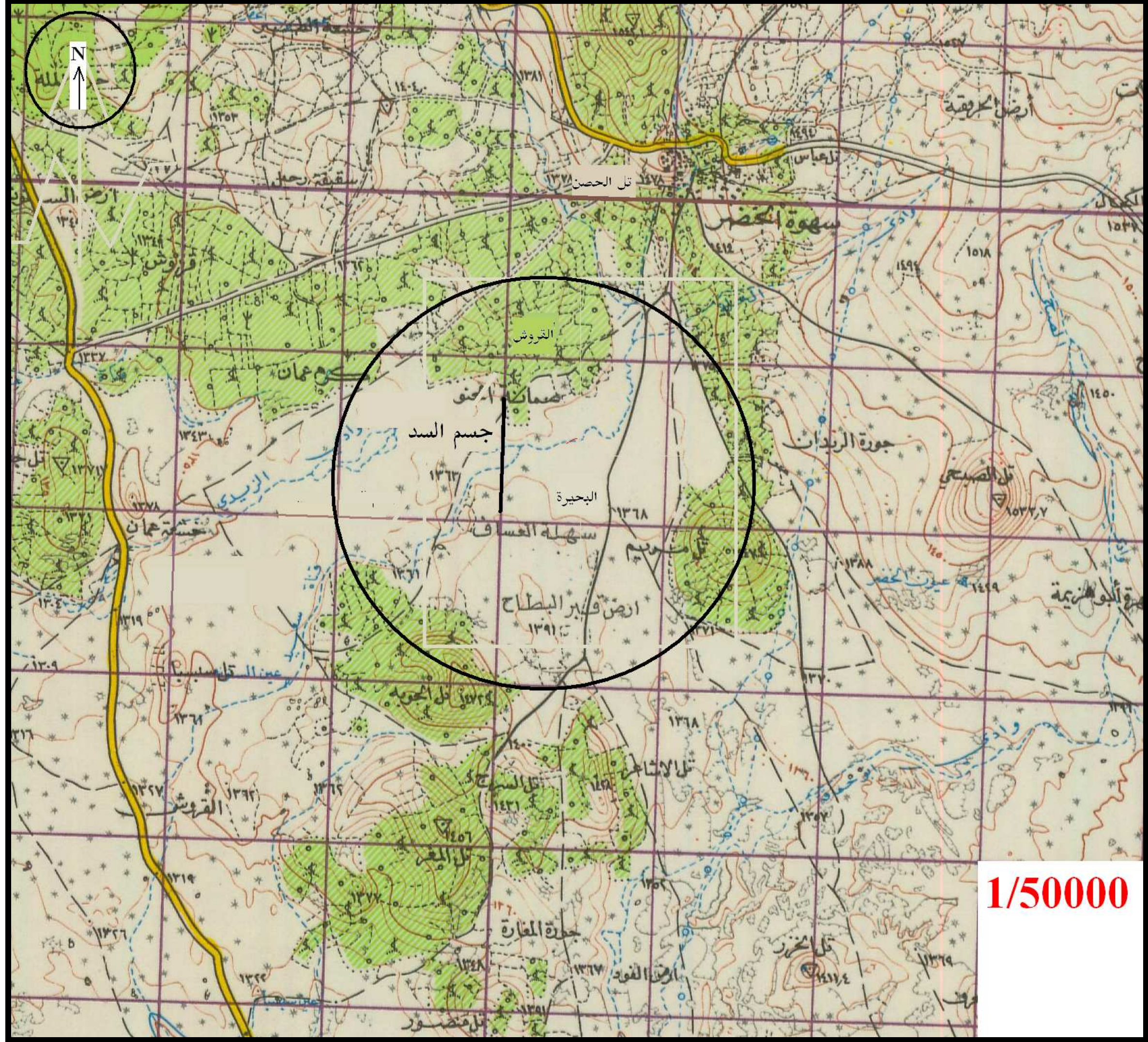
أقيم سد سهوة الخضر على وادي الزيدي المتشكل من التقاء عدة فروع لمسيلات موسمية تنحدر من المرتفعات الجبلية المتاخمة لموقع السد و المحيطة به وأشهرها تل مريم شرق بحيرة التخزين، وقد أنجزت الأعمال الإنشائية في هذا السد عام 1986 من قبل شركة الدراسات المائية، ويعتبر من السدود الركامية الهامة في المنطقة الجنوبية.
يبلغ طول جسم السد حوالي 852 متر ويصل ارتفاعه إلى 10 متر، ويقدر ارتفاع الماء في منطقة سرير الوادي ب 8.5 متر، تغطي البحيرة مساحة تقدر 1.490 كيلومتر مربع، ويقدر حجم التخزين المائي الأعظمي بـ 8.75 مليون متر مكعب في السنوات الماطرة.

.3.2 التغذية المائية

تعتبر الهطولات المطرية والثلجية المصدر الوحيد للوارد المائي لسد سهوة الخضر، حيث يمتد فصل الهطول من شهر تشرين الثاني وحتى شهر نيسان.
تتأثر كمية الأمطار الهاطلة في المنطقة بعاملين اثنين، الأول هو الارتفاع عن سطح البحر، بينما يتحدد العامل الثاني بموقع المنطقة بالنسبة للرياح الغربية المحملة ببخار الماء، هذا ويبلغ معدل الأمطار السنوية في المنطقة بشكل عام ما بين 400 - 600 ميلي متر .
إضافة إلى أن وادي الزيدي هو الرافد الأساس لسد سهوة الخضر هناك مجموعة من المسيلات المائية والأودية الرافدة والتي تسهم بشكل واضح في تغذية سد السهوة ، من أهمها مسيل عين مهاوش ، ومسيل وادي التينة ، ومسيل السهوة ، إضافة إلى وادي أبو حماقة الواقع جنوب وشرق وادي الزيدي الذي يتكون من التقاء وادي أبو حماقة مع وادي خلة الصبحي حيث يتم تحول مياهه إلى بحيرة السد عن طريق قناة جر مباشرة.

.3.3 الوضع الطبوغرافي

تقع منطقة الدراسة في محافظة السويداء على بعد 30 كم جنوب شرق مدينة السويداء ضمن خطوط الطول من E "36°,41',50 إلى E "36°,42',50. وخطوط العرض من N "32°,34',50 إلى N "32°,35',50.
يوضح الشكل (2) الخارطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة بمقياس 50000/ 1 ، حيث تظهر منطقة السد محاطة بمجموعة من التلال والهضاب المحلية ، أشهرها تل مريم من الشرق ومن الجنوب الشرقي وتل الحصن من الشمال والاندفاعات البركانية الناتجة عن بركان تل قليب وتل أبي سماقة إضافة إلى خشعة عمان من الغرب.

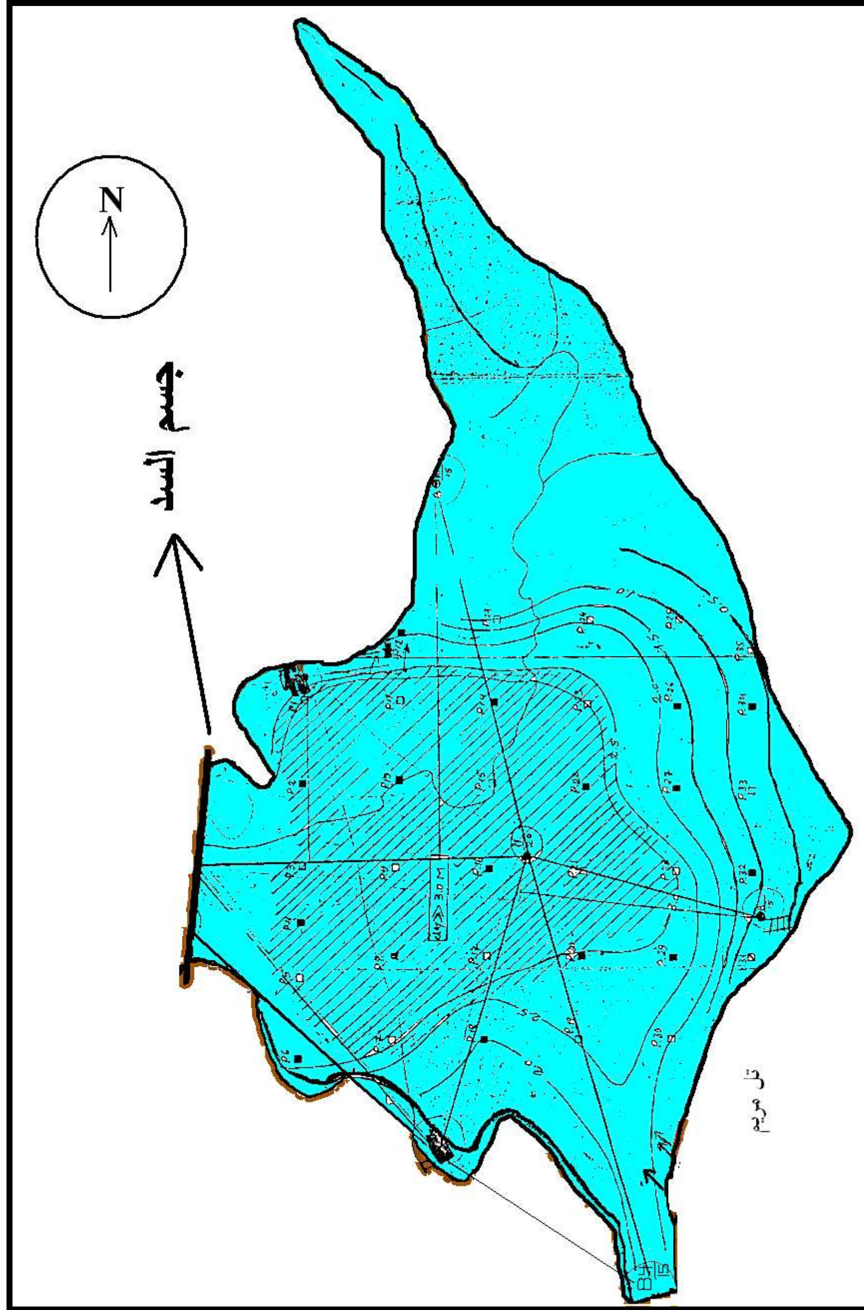


الشكل 2 :الخارطة الطبوغرافية لموقع السد

يشكل تل مريم الكتف الشرقي لبحيرة سد السهوة، و يأخذ شكلاً مخروطياً يعود من الناحية الجيولوجية إلى عمر البليوسين ، أما تل الحصن فهو يقع إلى الشمال من منطقة الدراسة ويعود أيضاً إلى عمر البليوسين، أما خشعة عمان فهي تقع إلى الجنوب الغربي من منطقة الدراسة وتصنف مع الصبات البازلتية العائدة للرباعي الأوسط .

يلاحظ أن بركاني تل قليب وتل أبي سماقة لا يقعان بالقرب من منطقة الدراسة ولكن الاندفاعات البركانية الناتجة عنهما تصل إلى منطقة الدراسة وتشكل معظم أجزاء الكتف الغربي للبحيرة .

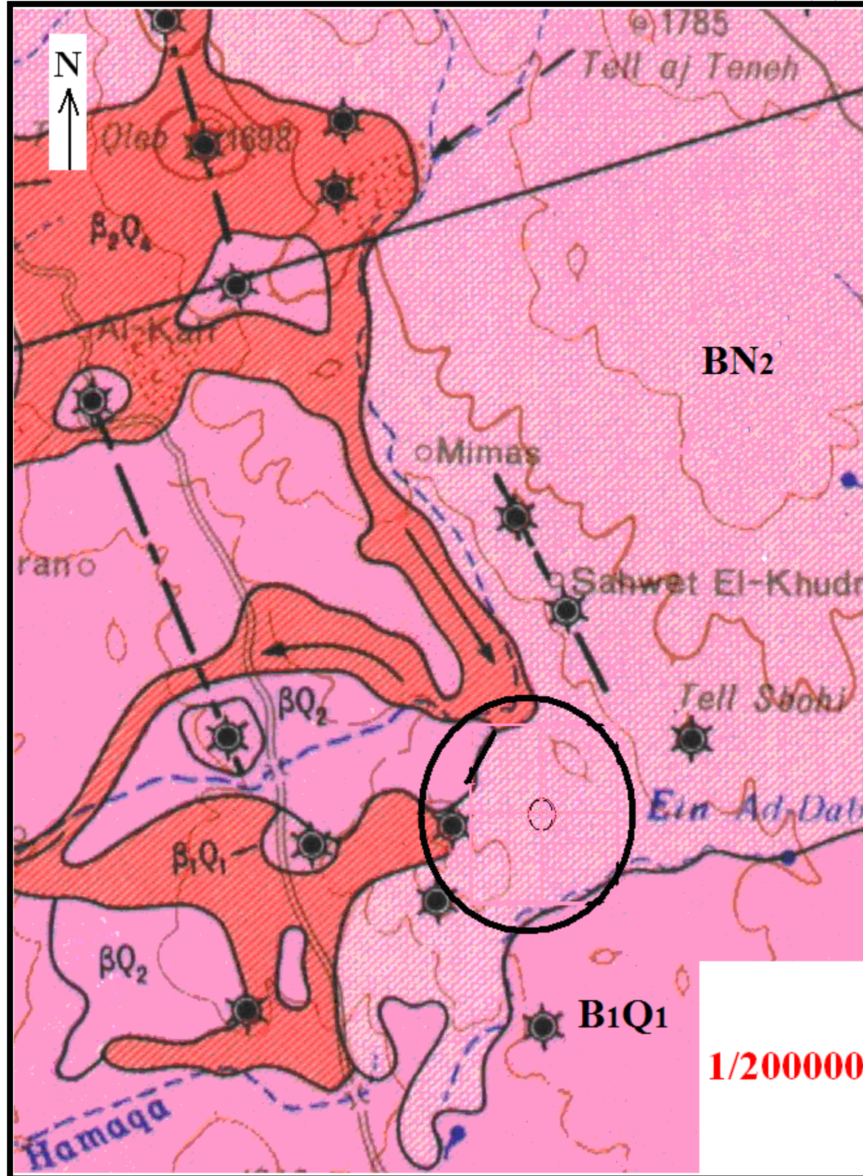
ُيظهر الشكل الآتي أيضاً معطيات الدراسة الطبوغرافية لموقع سد السهوة وشكل البحيرة.



الشكل 3: المخطط الطبوغرافي لمنطقة الدراسة

.3.4 الوضع الجيولوجي

يبين الشكل (4) الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة بمقياس 1/200000



الشكل 4: الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة

تبين الخارطة الجيولوجية أهم التوضعات الجيولوجية الموجودة في منطقة الدراسة التي تتكون بشكل رئيس من الصخور البركانية على شكل رمال وحصى بركانية أو صبات بازلتية تعود إلى عمر النيوجين والرباعي، إضافة إلى وجود توضعات غضارية ناتجة إما عن فساد الصخور البركانية أو عن رواسب السيول الجارفة لمواد حطامية من المرتفعات الجبلية أثناء ذوبان الثلوج .

تصنف الصخور البركانية الموجودة في منطقة الدراسة بشكل عام إلى قسمين:

الأول: يمثل الصخور البركانية المفككة المكونة من الرمل البركاني أو الحصى والحجارة البازلتية التي تظهر في الصورة الموضحة في الشكل (5).



الشكل 5: حصى و حجارة بازلتية مفككة

الثاني : وهو توضعات بركانية على شكل كتل ضخمة وصبات بازلتية مصمتة و أحياناً تحوي على شقوق وفراغات بمقاييس مختلفة كما يظهر في الشكل (6) .



الشكل 6: كتل وصبات بازلتية ضخمة في موقع الدراسة

ُيظهر هذا الشكل صبة بازلتية مع توضعات غضارية ناتجة عن عمليات التجوية ، كما ُيظهر المقطع الجيولوجي أيضاً في تل الحصن الواقع بالقرب من منطقة الدراسة طبيعة هذه الصخور البركانية.

يعتبرالمقطع الجيولوجي الممثل في الشكل (7) أحد الأمثلة التي تعبر عن معظم التوضعات الجيولوجية المتواجدة في منطقة الدراسة وهي تشمل :

بازلت بلاجيوكلازي يأخذ شكل قاطع في قمة المخروط سماكته بحدود 7 متر، يتضمن بلورات ناعمة التبلور من الاوليفين والبيروكسين والبلاجيوكلاز الإبري.

خبث وطف بركاني متماسك قرميدي مائل للسواد وهو صخر فراغي سماكته بحدود 9 متر.

خبث وطف بركاني شبه متماسك فيـــه قطع طفية قرميدية مسودة ضمـــن الخبث البركاني المصفر الرمادي الذي يشبه السكوريا سماكته بحدود 10 متر .

توضعات غضارية قرميدية مصفرة اللون سماكته 2 متر تقريبا .

الوصف الليثولوجي	العمود الليثولوجي	السماكة بالمتر
بازلت بلاجيوكلازي		7متر
خبث وطف بركاني متماسك قرميدي مسود اللون فراغي		9متر
خبث وطف بركاني شبه متماسك فيـــه قطع طفية قرميدية مسودة ضمـــن الخبث البركاني المصفر الرمادي الذي يشبه السكوريا.		10 متر
مستوى غضاري قرميدي مصفر اللون	====	2 متر

HOSON

الشكل 7: مقطع جيولوجي في تل الحصن (سهوة الخضر) [2]

كما وتجدر الإشارة إلى بعض البراكين الموجودة في منطقة الدراسة وذلك لأهمية الدور الذي تلعبه التوضعات الناتجة عنها في تشكل نطاقات راشحة في المنطقة ، ويعد اختلاف أعمار هذه البراكين بشكل خاص عاملاً مهماً في تحديد أماكن نطاقات الرشح كما سيلاحظ لاحقاً من خلال هذه الدراسة، أما التوضعات الغضارية في منطقة الدراسة فهي تشكل تربة زراعية حمراء إلى بنية اللون تصبح أحياناً رمادية قاتمة تختلط بحصى وكتل بازلتية مختلفة المقاييس، تتوضع بشكل عام فوق أو ضمن الصخور البركانية ، وهي

ناتجة بشكل رئيسي من فساد الصخور البركانية حسب المذكرة الإيضاحية لخارطة سورية الجيولوجية - رقعة السويداء 1/50000 [2] .

تتفاوت سماكة التوضعات الغضارية في منطقة الدراسة من مكان لآخر، وقد سجلت أكبر سماكة لها في بحيرة التخزين، حيث وصلت سماكتها إلى 15 متر كما دلت معطيات السبور الميكانيكية [3] .

ترتبط درجة التجوية في الصخور البركانية بشكل عام بعاملين أساسيين هما التركيب الكيميائي لهذه التوضعات و عمرها الجيولوجي، وبما أنه يمكن اعتبار التركيب الكيميائي للصخور البركانية الموزعة في كافة أرجاء منطقة الدراسة هو تقريباً واحداً [2] ، فإنه يمكن القول أن العمر الجيولوجي يلعب الدور الرئيسي في تحديد درجة التجوية للصخور البركانية، وبناءً عليه تكون نسبة التوضعات الغضارية أكبر ضمن الصخور البركانية الأقدم عمراً لأن نسبة الفساد الكيميائي فيها أكبر.

يلاحظ بشكل عام أن التوضعات الغضارية الناتجة عن الفساد الكيميائي للصخور البركانية تتوضع على شكل غطاء فوق الصبات البازلتية أو تنتشر ضمن شقوق وفجوات الصبات البازلتية، والسبب في ذلك يعود إلى سطوح الشقوق التي تكون أكثر عرضة لعوامل التجوية وبالتالي أكثر للفساد من الأجزاء الداخلية للصخر.

تعتبر هذه النتيجة هامة عند الحديث عن توزع نطاقات الرشح في المناطق البازلتية كما هو الحال في موقع سهوة الخضر .

3.5. الوضع التكتوني

تقع منطقة جبل العرب بين نهوضي الرطبة والأردن، و يحدها شمالاً فوالق السلاسل التدمرية، وتتصل جنوباً مع منخفض الأزرق بالأردن وسرحان بالسعودية، حسب المذكرة الإيضاحية لخارطة سورية الجيولوجية، رقعة السويداء مقياس 1/50000 [2].

لعبت فوالق الشد الناتجة عن حركة السطيحة العربية إلى الشمال مع حركتها الدورانية إلى الشرق الدور الأساسي في عمليات البركنة التي حدثت في جنوب سوريا منذ الميوسين واستمرت خلال البليوسين والرباعي، مما أدى إلى تدفق الماغما وحدوث نشاط بركاني أدى إلى اندفاعات بركانية على شكل مخاريط ذات اتجاه شمال غرب – جنوب شرق.

إن الحركات التكتونية التي حدثت خلال الرباعي يمكن اعتبارها نتيجة لتفريغ المهل من المعطف العلوي وثقل الانسكابات البازلتية الذي أدى إلى عدم استقرار في الأجزاء الهامشية وعودة الفعالية البركانية من جديد، حيث صعد المهل من الغرف المهلية الثانوية عبر الشقوق والفوالق ذات الاتجاه شمال- شمال غرب ، غطت هذه الانسكابات مساحات واسعة من المنخفضات مشكلة وحدات بنيوية هامة يدل عليها السلاسل البركانية في مراكز هذه الوحدات مثل اللجا ، الصفا ، الكراع.

3.6. بعض خصائص التوضعات الجيولوجية المتواجدة في منطقة الدراسة

تدل الدراسات الجيولوجية في المنطقة، والتي اعتمدت بشكل أساسي على معطيات السبور الميكانيكية المحفورة بالقرب من منطقة الدراسة، على وجود التوضعات الجيولوجية الآتية :

وجود تناوبات من الصبات البازلتية القاسية المصمتة أحياناً والفراغية أحياناً أخرى تعود إلى عمر النيوجين والرباعي وهي تعتبر بمجملها كتيمة أو ضعيفة النفاذية.

تواجد رمال و حصى بركانية على شكل خبث بركاني معظمها عدسات محدودة الانتشار مغطاة بتوضعات غضارية بحيث يمكن اعتبارها غير راشحة عملياً كما في الشكل الآتي :



الشكل 8 : صور للتوضعات الكتيمة غير الراشحة في منطقة الدراسة

تتواجد توضعات غضارية تتداخل مع الصخور البركانية في كافة المستويات العمقية وتتصف التوضعات الجيولوجية المذكورة بالخصائص الآتية :

تشكل التوضعات الغضارية في منطقة الدراسة أوساط غير نفوذه [1.6]، كما وتتميز بقدرة امتزاز عالية للسوائل ، إضافة إلى قدرتها على الانتباج والانتفاخ وهذا يسمح لها بتخزين كمية كبيرة من السوائل ضمنها كما يمنع مرور السوائل من خلالها.

تعتبر الصخور البركانية القريبة من السطح عرضة بشكل كبير لعوامل التجوية وبالتالي التشقق والتكسر، إضافة إلى أن بعض الصخور البركانية تكون على شكل صخور ذات أحجام صغيرة المقاييس نسبياً مثل الرماد أو الرمل البركاني و حصى و حجارة بركانية والتي تعتبر توضعات مفككة تحتوي على نسبة عالية من الفراغات، وبناءً على ذلك تعتبر الصخور البركانية القريبة من السطح توضعات نفوذه بشكل عام [1.6]،

وهذه بعض نماذج للصخور البركانية التي تميز منطقة الدراسة موضحه في الشكل الآتي:



الشكل 9: صور للصخور البركانية في منطقة الدراسة

كما ويؤدي ارتفاع نسبة التوضعات الغضارية ضمن توضعات الرمال البركانية أو الحصى والحجارة والصبات البازلتية الحاوية على شقوق وفراغات إلى تناقص نفوذية هذه التوضعات وحتى انعدامها بشكل عام والعكس بالعكس [1].

4. الدراسات الجيوفيزيائية

4.1. الطرائق الجيوفيزيائية المستخدمة

استخدمت في منطقة الدراسة الطرائق الجيوفيزيائية الآتية :

4.1.1. الطرائق الجيوكهربائية

نفذت أعمال المسح الجيوكهربائي في موقع سد سهوة الخصر باستخدام الطرائق الجيوكهربائية الآتية :

4.1.1.1. طريقة الكمون الذاتي (SP)

4.1.1.1.1. مبادئ أساسية:

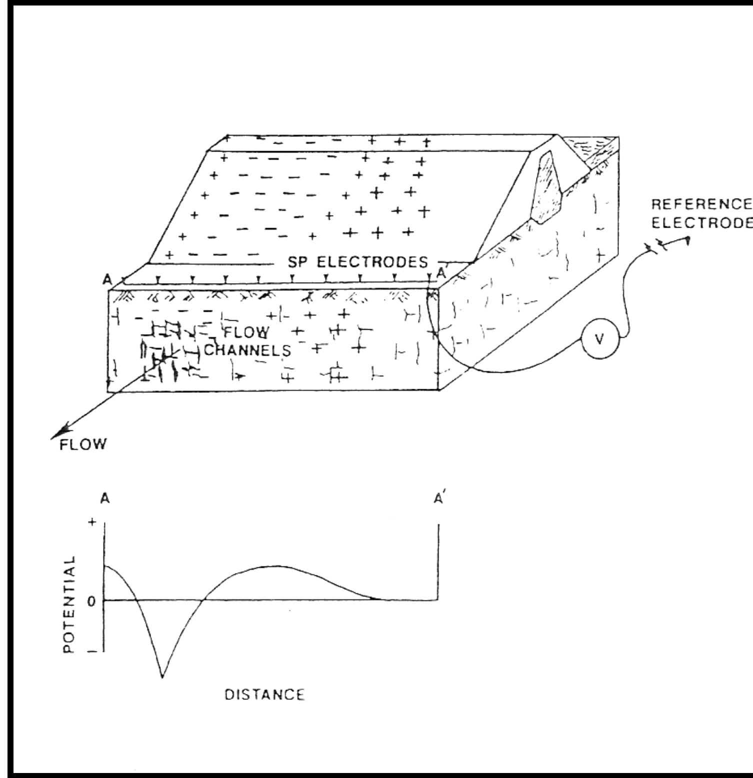
تعتمد طريقة الكمون الذاتي على دراسة الحقل الكهربائي الطبيعي الذي تسببه القوى الكهربائية المحركة الناتجة عن العمليات الفيزيائية –الكيميائية.
تؤدي العمليات الفيزيائية –الكيميائية والتي تلعب فيها تفاعلات الأكسدة والإرجاع دوراً أساسياً إلى نشوء كمونات طبيعية على سطح التماس بين الفلزات ذات الناقلية الالكترونية (كالسولفيدات ، وبعض الأكاسيد ...) وبين الوسط المحيط ذي الناقلية الأيونية.
تسمى هذه الكمونات الطبيعية المرتبطة بوجود أجسام فلزية باسم الكمونات الفلزية ، وتبلغ قيماً عالية نسبياً.
كما يمكن أيضاً أن تنشأ كمونات من نوع آخر تكون مميزة للنطاقات الراشحة للمياه ، وهي تعبر عن كمون ناتج عن حركة المياه الجوفية عبر مسامات الصخر وتسمى بالكمونات الرشحية أو كمون الجريان.

4.1.1.1.2. استخدام قياسات الكمون الذاتي في مجال السدود

تستخدم طريقة الكمون الذاتي منذ عقود لتحديد أماكن الرشح ضمن الصخور أو أماكن الضعف ضمن السدود التخزينية والحواجز المائية، وذلك اعتماداً على تغيرات مركبة كمون الجريان .
يتم رشح المياه الجوفية عادة ضمن الصخر من خلال أماكن الضعف التي تكون على شكل شبكة من الممرات الشعرية والشقوق متباينة المقاييس والاتجاهات، ونتيجة لذلك

تتولد كمونات كهربائية (كمونات الجريان) يمكن تحديدها وتوصيفها باستخدام أجهزة قياس الكمون الذاتي .

تختلف شدة كمون الجريان حسب العمق الذي يحدث فيه الرشح، إضافة إلى مقدار تدفق المياه الراشحة، ويمكن توضيح كيفية نشوء الكمون الذاتي نتيجة رشح المياه من السدود من خلال الشكل الآتي:

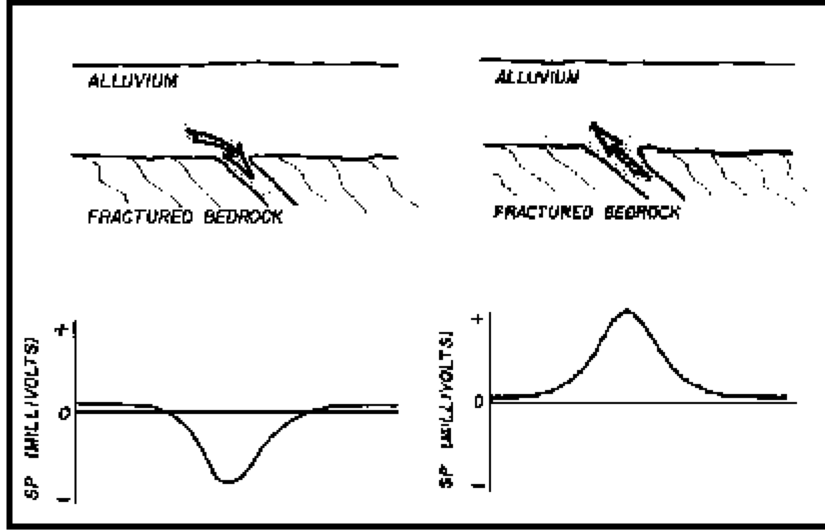


الشكل 10: شكل توضيحي يظهر توزع شاذات الكمون الذاتي الناتجة عن رشح المياه ضمن سد ركامي

تدل قياسات الكمون الذاتي المسجلة على طول بروفيل AA' الموازي لمحور السد على تشكل شاذ سالب في الأماكن التي تدخل فيها المياه الراشحة إلى جسم السد ، أو فوق مسارات الرشح في حال كانت حركة المياه بشكل أفقي.

تأخذ شاذات الكمون الذاتي الناتجة عن رشح المياه من السدود أو الخزانات المائية [13.22.29.42] قيماً سالبة أو موجبة حسب المكان الذي يبدأ منه الرشح أو الذي ينتهي عنده، ففي الأجزاء التي يبدأ منه الرشح يكون الشاذ ذات قيم سالبة ، بينما تكون الشاذات في الأجزاء البعيدة عن الأجزاء التي يبدأ رشح المياه منها كأماكن خروج المياه الراشحة مثلاً موجبة . وقد درس العالم Helmholts عام 1952 هذه الطريقة و برهن على الانتقال المتمايز للكاتيونات الموجبة ذات الحجم الصغير مع اتجاه حركة جريان التيار المائي عبر المسامات والشقوق الصخرية، الأمر الذي يفسر ظهور شاذات موجبة في تسجيلات الكمون الذاتي في الأجزاء البعيدة، في حين لا تستطيع الأيونات السالبة ذات الحجم الكبير الانتقال مع اتجاه حركة التيار المائي بل تبقى متجمعة في التوضعات التي

يبدأ منها الرشح وبذلك تظهر الشاذات في بداية أماكن الرشح سالبة، و يمكن فهم هذه الطريقة بشكل أفضل من خلال الشكل (11) .



الشكل11: شكل توضيحي يبين الشاذ في كمون الرشح في بداية منطقة الرشح ونهايتها

يبين هذا الشكل كيفية تغيير إشارة الشاذ في قيم الكمون الذاتي (موجبة أو سالبة) وذلك تبعاً لمكان بداية الرشح ونهايته، ويلاحظ أن قيم الكمون الذاتي تكون سالبة في المنطقة التي يبدأ منها الرشح وموجبة في نهاية منطقة الرشح.

أن تحديد كمون الجريان في مواقع السدود يمكن أن يساعد إلى حد كبير في توجيه أعمال التحريات الجيوفيزيائية الأخرى باتجاه القطاعات الراشحة كما جاء في أعمال *Davenport G.G, Hadley L.M,* and *Randall. J.A* (عام 2008).

تشير العديد من الدراسات المنفذة في مواقع مختلفة والتي عرضت في المراجع [13.27.28.37] إلى أن شاذات الكمون الذاتي في مواقع السدود التخزينية هي ليست دوماً ناتجة عن رشح المياه، بل يمكن أن تكون بسبب مصادر أخرى يمكن تلخيصها على الشكل الآتي :

- شاذات موجبة : قد تكون ناتجة عن التوضعات الجيولوجية التي تحتوي على نسب عالية من الغضار
- شاذات سالبة : قد تكون ناتجة عن توضعات مكونة من تراكم عشوائي لمواد حطامية.
- شاذات سالبة : قد تكون ناتجة عن وجود الشقوق ضمن توضعات صخرية متجانسة.
- شاذات موجبة وسالبة : قد تكون ناتجة عن نطاقات التماس بين التوضعات الجيولوجية المختلفة.
- شاذات موجبة أو سالبة : تأخذ الشاذات الناتجة تيارات التشويش وخاصة تيارات التشويش التلورية قيماً موجبة أو سالبة.

بناء على ما سبق يجب الانتباه أثناء تنفيذ قياسات الكمون الذاتي إلى المصادر المتنوعة للشاذات وضرورة التميز أو الفصل بين شاذات الكمون الذاتي الناتجة عن الرشح وشاذات المصادر الأخرى، إضافة إلى أن مقارنة المعطيات المقاسة مع قياسات جيوفيزيائية أخرى (قياسات المقاومية الكهربائية أو القياسات السيزمية الإنكسارية) في الكثير من الحالات تكون مجدية وكفيلة بتحديد السبب الرئيس لتشكيل شاذات الكمون الذاتي .

تقدم طريقة الكمون الذاتي بدون أدنى شك مؤشرات هامة عند دراسة المشاكل الرشحية في السدود ، وهنا لابد من الإشارة إلى أن أغلب الدراسات المنفذة على السدود لا تعتبر قيم شاذات الكمون الذاتي التي تقل عن ±10 m.V كمونات ناتجة عن الرشح ، بل تكون ناتجة عن عوامل أخرى كالفروقات الطبوغرافية أو اختلاف نسبة التوضعات الغضارية أو اختلاف نسبة الرطوبة ضمنها، وهذا ما تم اعتماده في تحديد نطاقات الرشح في عدد من السدود الركامية ، وسنورد فيما يلي نتائجً لبعض الدراسات السابقة:

I. دراسة نفذت في قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء جامعة ’*Missouri-Rolla, Rolla*‘ عام 2003 في موقع سد بحيرة كريستال (*Crystal Lake Dam*) في ولاية Missouri في الولايات المتحدة الأمريكية [17].

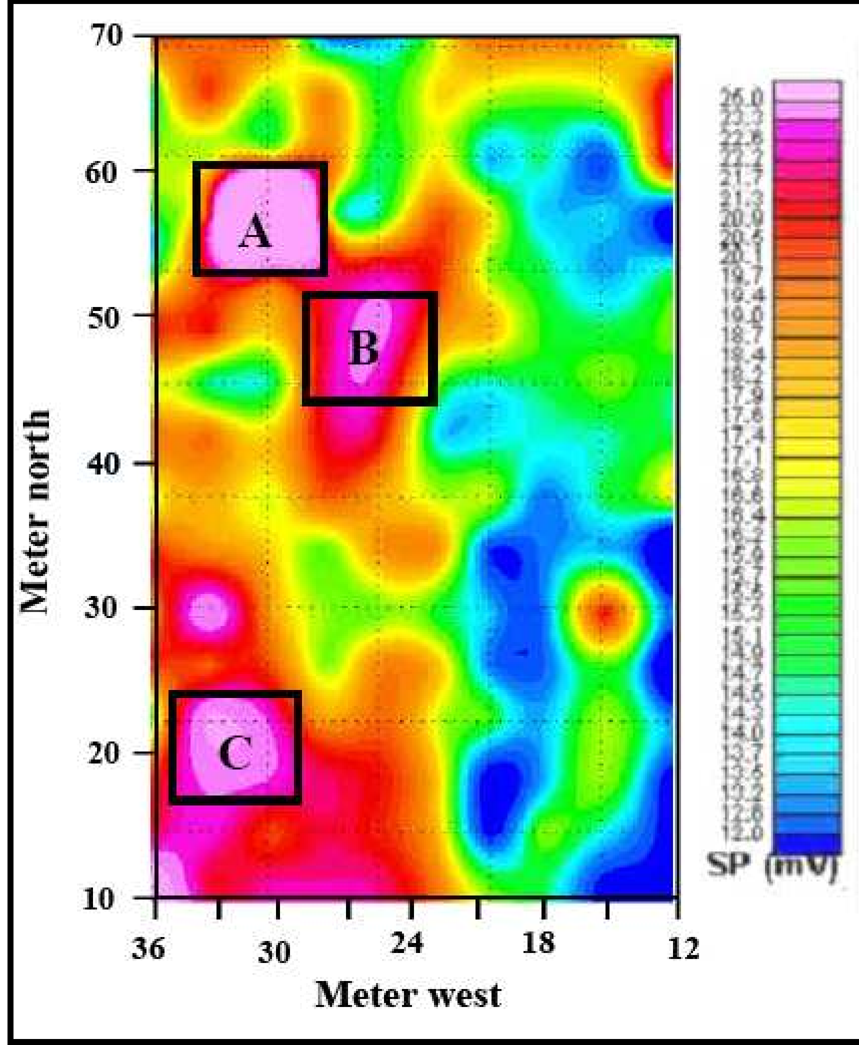
تم في هذه الدراسة تنفيذ قياسات الكمون الذاتي و المقاومية الكهربائية وذلك بغية تحديد أماكن الرشح في السد المذكور.

دلت هذه الدراسة على أن صخور الأساس المكونة من الدولوميت تتميز بقيم عالية نسبياً للمقاومية الكهربائية حيث تتراوح بين 300 Ω.m و 4500 Ω.m ، كما سجلت قيماً عالية للكمون الذاتي تتراوح بين 17-27 m.V نسبت أيضاً إلى نفس الصخر.

يبين الشكل الآتي منحنيات تساوي قيم الكمون الذاتي قي منطقة الدراسة، حيث يلاحظ بشكل عام أن قيم الكمون الذاتي في المنطقة التي تتراوح مابين 13-17 m.V هي ناتجة بشكل عام عن اختلاف نسبة الرطوبة ضمن الصخر من جهة ، وتباين الارتفاعات الطبوغرافية في منطقة الدراسة من جهة ثانية.

تتراوح القيم العظمى للكمون الذاتي المسجلة كما ذكر سابقاً ما بين 17-27 m.V وهي تظهر في هذا الشكل أدناه في المواقع الثلاث A.B.C والمميزة باللون الزهري.

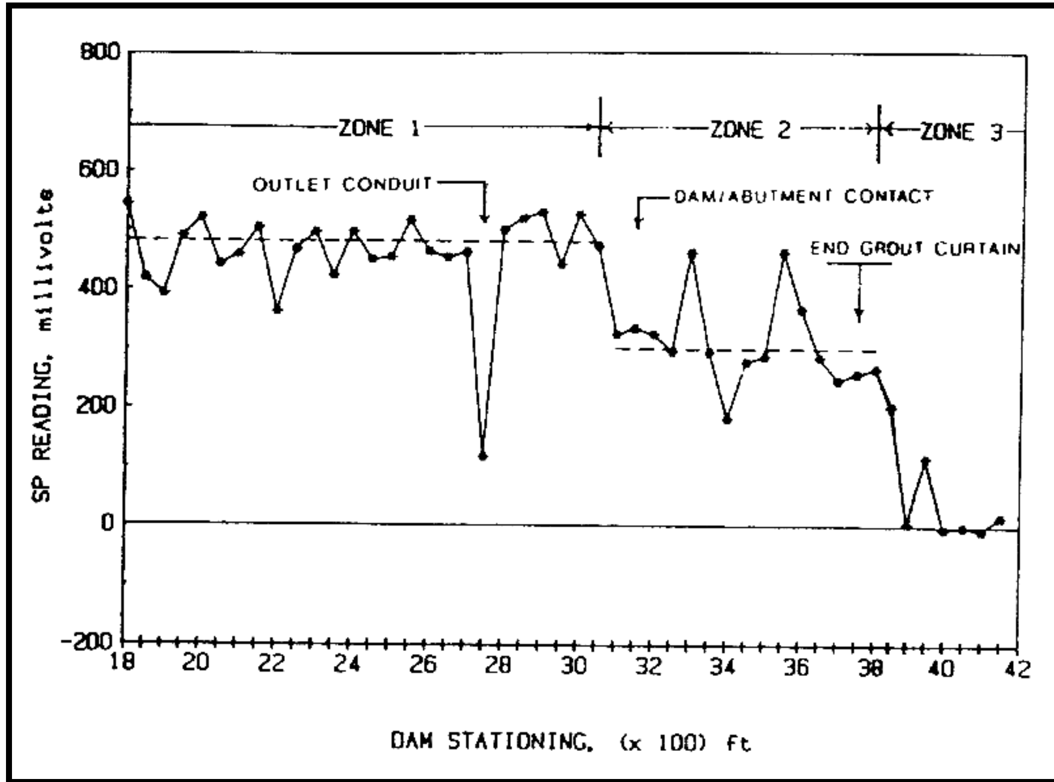
تشير هذه الدراسة إلى أن قيم الكمون الذاتي المرتفعة نسبياً هي ناتجة عن حركة المياه الراشحة ضمن شقوق أو نطاقات التجوية الموجودة في صخور الأساس الدولوميتية، كما يؤدي وجود المياه ضمن شقوق هذه الصخور إلى انخفاض ملحوظ في مقاوميتها الكهربائية من 4500 Ω.m إلى حدود 300 Ω.m .



الشكل12: نطاقات تساوي قيم الكمون الذاتي [17]

دراسة منفذه في سد (Mill Creek) الذي يقع ضمن ولاية Washington في الولايات المتحدة الأمريكية.
تم تنفيذ هذه الدراسة الجيوفيزيائية بغية تحديد نطاقات الرشح في السد المذكور، حيث تم تسجيل قياسات الكمون الذاتي قبل وأثناء وبعد ملئ بحيرة السد بالمياه ، وقد استخدم لذلك مسريين على شكل قضيبين معدنيين غير قابلين للاستقطاب ، وحدد التباعد فيما بينهما بـ 15 متر، . تبين من خلال هذه الدراسة وجود شاذ تصل قيمته إلى 380 m.V- يمثل قناة التصريف المائية التي تقع على عمق 20 متر تحت بروفيل الكمون الذاتي المقيس، و بناء على قيم الكمون الذاتي تم تقسيم مسار القياس إلى ثلاث نطاقات أساسية.
يعتقد أن سبب اختلاف قيم الكمون الذاتي المقاسة بين النطاق الأول والنطاق الثاني هو ناتج عن تغير جانبي في طبيعة التوضعات الجيولوجية الموجودة في هذا الجزء من منطقة الدراسة ، بينما يعزى سبب اختلاف قيم الكمون الذاتي المقاسة بين النطاق الثاني والنطاق

الثالث إلى تغير جانبي في نظام تدفق المياه الناتج عن الانتقال من الجدار الحاجز الإسمنتي والستارة الرسوبية، ويبين الشكل الآتي تغيرات قيم الكمون الذاتي على طول مسار القياس والنطاقات الثلاث المذكورة، كما لوحظ بشكل عام تغيرات واضحة لقراءات الكمون الذاتي بازدياد منسوب المياه في السد وعندما بدأ ملئ السد بالمياه سرعان ما ظهرت شاذات سالبة لقيم الكمون الذاتي مع الزمن، ويعتقد أن سبب الشاذات في قيم الكمون الذاتي وجود رشح تحت الجدار الإسمنتي، حيث يتوافق مكان الرشح في هذا الموقع مع الحد الفاصل مابين الجدار الإسمنتي والستارة الرسوبية.

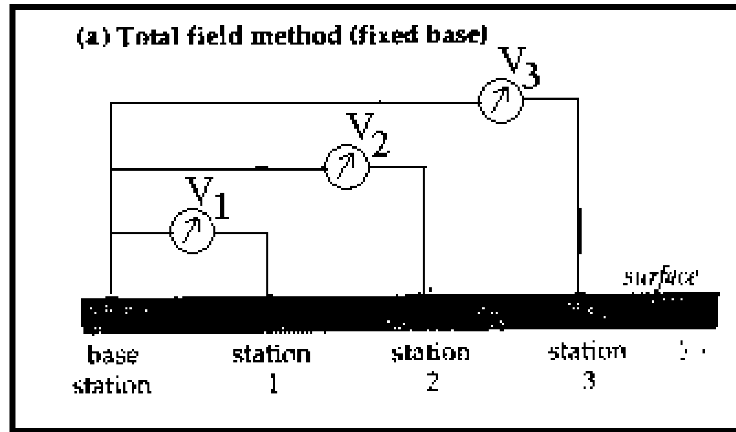


الشكل 13: بروفيل الكمون الذاتي المقاس على مسار القياس

4.1.1.1.3.تنفيذ قياسات الكمون الذاتي

يتم قياس الكمون الذاتي بواسطة مساري غير قابلة للاستقطاب بحيث توضع على تماس مباشر مع التربة أو ضمن المياه، ويستخدم هذا النوع من المساري لمنع حدوث تشويش لقراءات الكمون الذاتي بفعل كمون استقطاب المساري الناتج عن التأثير المتبادل بين مساري الاستقبال المعدنية والمحاليل الموجودة في فراغات التربة.
بشكل عام تتحدد طرق قياس الكمون الذاتي بالطريقتين الآتيتين:

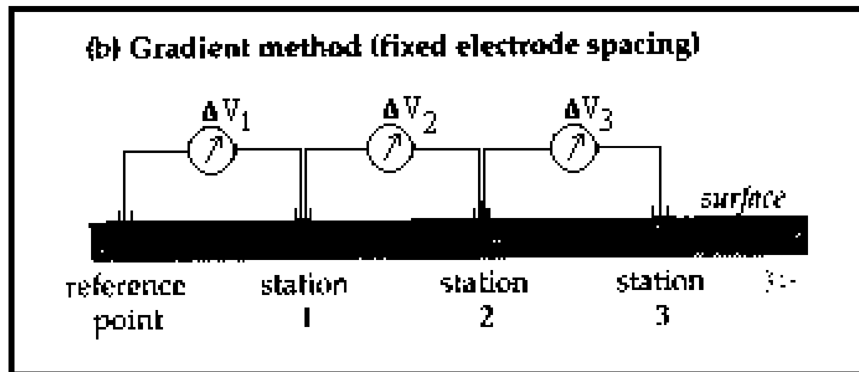
- **الطريقة الأولى**: تسمى بطريقة قياس الحقل الكموني الكلي كما هو موضح في الشكل الآتي :



الشكل14: طريقة الحقل الكلي في قياس الكمون الذاتي [28]

يظهر في هذا الشكل مسريين الأول هو مسرى ثابت يدعى المسرى base station، المرجعي يثبت ضمن منطقة القياس، أما المسرى الثاني هو مسرى متحرك ضمن مسار معين ووفق مسافات يتم تحديدها بناءً على هدف الدراسة.

- **الطريقة الثانية**: هي طريقة قياس الكمون التدرجي Gradient وتنفذ على الشكل الآتي :



الشكل15: طريقة الكمون التدرجي في قياس الكمون الذاتي [28]

يوضح هذا الشكل أن هذه الطريقة تعتمد على إزاحة مسريي الكمون معاً في كل نقطة قياس مع إبقاء المسافة بينهما ثابتة.

هذا وتشير العديد من الدراسات إلى أهمية قياسات الكمون الذاتي استناداً إلى مطال الإشارة المسجلة [13.41.42]، فعندما تكون الإشارة المسجلة على طول البروفيل أكبر من ± 10 m.V في هذه الحالة يجب تنفيذ قياسات مكثفة تفصيلية على مسافات أصغر من أجل تحديد أفضل لحدود وشكل الشاذ.

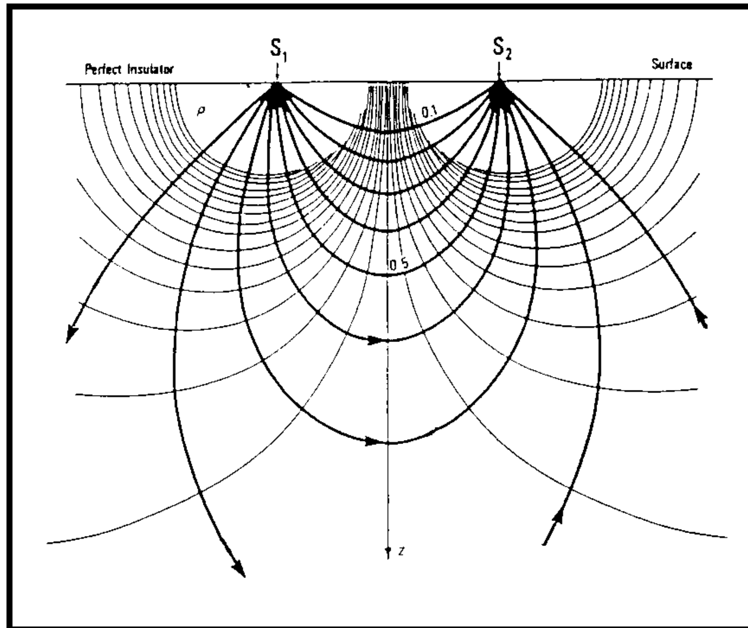
4.1.1.2. طرائق المقاومية الكهربائية

تعتبر طرائق المقاومية الكهربائية من أهم طرائق التنقيب الكهربائي كونها تشكل الطريقة الأسهل والأكثر استعمالاً في مجال التنقيب واستكشاف معظم الثروات الباطنية . ونظراً لهذه الأهمية لا بد من التطرق إلى بعض المبادئ الأساسية.

4.1.1.2.1. مبادئ أساسية:

تعتمد طرائق المقاومية الكهربائية بشكل عام على تيار كهربائي مستمر يرسل إلى نطاقات الأرض من خلال مسريين معدنيين ، ومن ثم يتم تحديد إحدى أهم الخصائص الكهربائية للوسط المدروس ألا وهي "المقاومية الكهربائية النوعية " ..

تغرس مساري التيار في التربة وفق تشكيل هندسي معين ، حيث يتم من خلالها إرسال تيار كهربائي بشدة محددة ، كما هو موضح في الشكل (16)



الشكل16: توزع الحقل الكهربائي ضمن وسط متجانس

يختلف توزع الحقل الكهربائي ضمن النطاق المدروس حسب خصائص الوسط، ففي حالة الوسط المتجانس والمتماثل الخواص فإن التيار الكهربائي ينتشر في مختلف الاتجاهات، مما يؤدي إلى تشكل سطوح تساوي الكمون تكون في هذه الحالة على شكل أنصاف كرات متمركزة حول مصدر الحقل الكهربائي ويكون تدرج الكمون واحد في مختلف الاتجاهات.

يقاس فرق الكمون بين زوج من المساري MN يسميان مساري الكمون... ومن معرفة فرق الكمون، وشدة التيار المستخدم، والمسافة بين المساري يتم حساب المقاومية الكهربائية النوعية، وهي تعبر عن المقاومية الكهربائية الحقيقية للوسط في حال كان الوسط متجانس ومتماثل الخواص.

في حال كان الوسط متجانس ومتماثل الخواص طوله (L) ، ومقطعه العرضي (Q)، وناقليته الكهربائية (σ) ، فإذا مر ضمنه تيار كهربائي ثابت شدته (I) فإن فرق الكمون المتشكل من جراء مرور التيار يعطى بالعلاقة الآتية [27] :

$$\Delta V = I.R \qquad (1)$$

حيث :

$$R = \rho.\frac{L}{Q} \qquad (2)$$

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{L}{Q} \qquad (3)$$

وكثافة التيار تكون :

$$|J| = \frac{I}{Q} \qquad (4)$$

بناء عليه يعطى الكمون الكهربائي في نقطة القياس M بالعلاقة الآتية :

$$V1 = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}\right] \qquad (5)$$

بشكل مشابه يحدد الكمون الكهربائي ($V2$) عند نقطة أخرى مثل N

$$V2 = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{r3} - \frac{1}{r4}\right] \qquad (6)$$

حيث: $r1$ - المسافة بين $S1$ و M
$r2$ - المسافة بين $S2$ و M
$r3$ - المسافة بين $S1$ و N
$r4$ - المسافة بين $S2$ و N
أما فرق الكمون فهو عبارة عن :

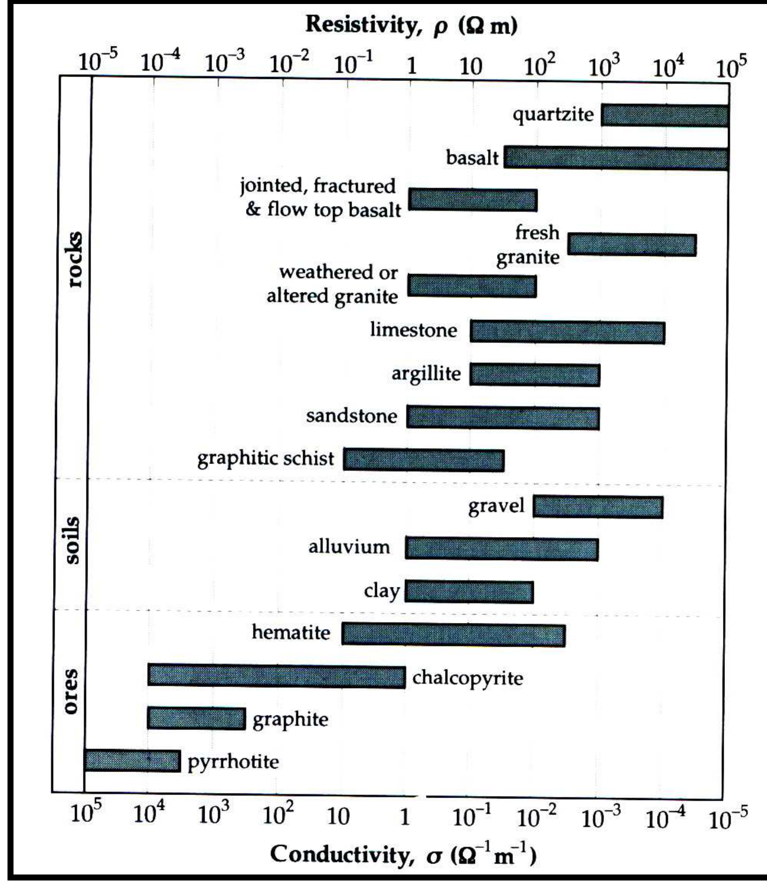
$$\Delta V = V1 - V2 \qquad (7)$$

بناء عليه تحدد المقاومية الكهربائية النوعية كما يلي :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} . \frac{2\pi}{\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} - \frac{1}{r3} + \frac{1}{r4}} = \frac{\Delta V}{I} . K \qquad (8)$$

يسمى K - ثابت التشكيل

تعتبر العلاقة (8) العلاقة الأساسية التي تحدد المقاومية الكهربائية النوعية للوسط باستخدام تشكيل رباعي المساري .
تؤكد العديد من الدراسات أن قيم المقاومية الكهربائية للتوضعات الجيولوجية تتغير ضمن مجال واسع بسبب اختلاف صفاتها وخصائصها، وهذا الأمر يوضحه الشكل الآتي، حيث يظهر تغير قيم المقاومية الكهربائية لمجموعة من الصخور والفلزات.



الشكل 17: قيم المقاومية الكهربائية لبعض التوضعات الجيولوجية [28]

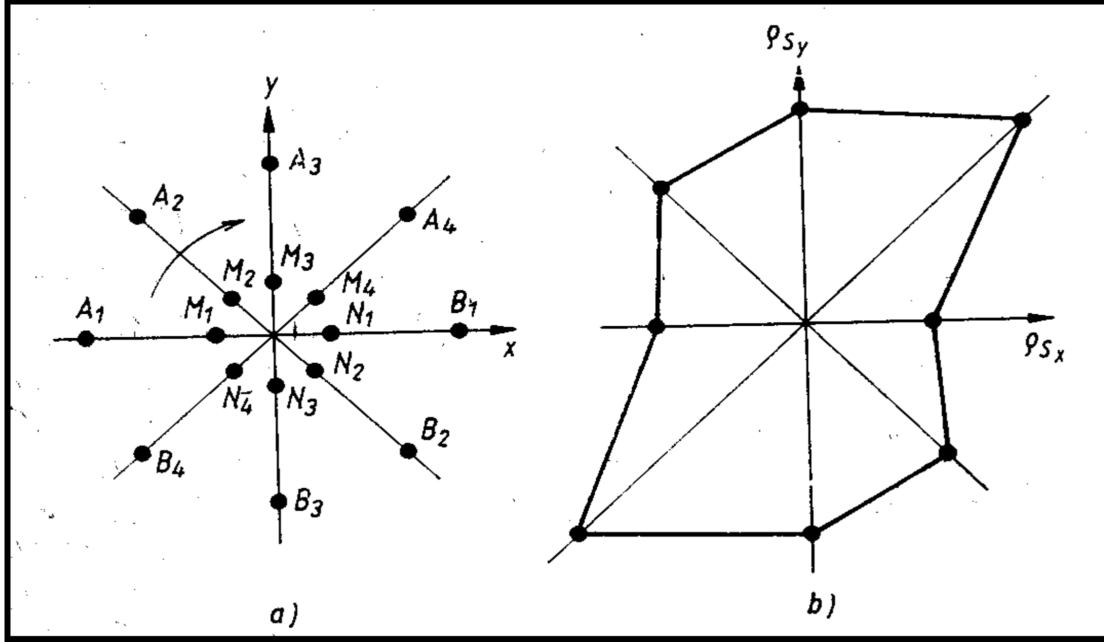
يبين هذا الشكل أن المقاومية الكهربائية لصخور البازلت على سبيل المثال يمكن أن تنخفض حتى 70 Ω.m بسب التغيرات الكبيرة التي تطرأ عليها والتي تنعكس بشكل مباشر على خصائصها البتروفيزيائية .

تدل العديد من الدراسات على أن استخدام طرائق المقاومية الكهربائية في دراسات السدود تتم وفق طرق مختلفة ومتعددة ، وفي منطقة الدراسة في سد سهوة الخضر استخدمت هذه الطرائق الآتية :

- طريقة المسح الكهربائي الدائري
- طريقة المسح الكهربائي الأفقي
- طريقة السبر الشاقولي
- طريقة السبر الأفقي – الشاقولي

I. طريقة المسح الكهربائي الدائري

يعتمد المسح الكهربائي الدائري على تحديد تغيرات المقاومية الكهربائية وفق اتجاهات متباينة ، ويتحقق ذلك عن طريق جعل مركز المسح ثابتاً وتغير منحى القياس .
يبين الشكل (18) مبدأ القياس باستخدام تشكيل رباعي المساري متناظر .



الشكل18: مبدأ المسح الكهربائي الدائري [47]

يتم عادة تدوير تشكيل القياس بأكمله حول المركز، بزوايا محددة (زاوية الدوران في الشكل أعلاه 45°) ، وتسجل قيم المقاومية الكهربائية عند كل اتجاه مع الحفاظ على أبعاد المساري دون تغيير، أي أن القياس ينفذ من أجل نطاق عمقي ثابت، ويمكن تغير الأبعاد بين مساري تشكيل القياس المستخدم أذا أردنا الحصول على معلومات من نطاق عمقي آخر، هذا و تحدد الأبعاد بين مساري تشكيل القياس اعتماداً على معطيات طريقة السبر الشاقولي المنفذ مسبقاً في الموقع وبما يتناسب مع العمق الاستكشافي المطلوب .
يتم تمثيل معطيات المسح الكهربائي الدائري على شكل محاور تتناسب أطوالها طرداً مع قيم المقاومية الكهربائية المقاسة، ثم يرسم الإهليلج الدائري الذي يمر من رؤوس هذه المحاور.
يستخدم المسح الكهربائي الدائري لمعرفة درجة عدم التجانس ضمن النطاقات الصخرية وخاصة النطاقات المشققة ونطاقات التخلعات التكتونية، حيث يدل اتجاه تطاول الإهليلج الدائري على الاتجاه العام للشقوق في موقع القياس.

II. طريقة المسح الكهربائي الأفقي

يهدف المسح الكهربائي الأفقي إلى الكشف عن التغيرات الجانبية في المقاومية الكهربائية للنطاقات الصخرية .

تعتمد طريقة التنفيذ على نقل المساري من محطة قياس إلى أخرى ، ويمكن من حيث المبدأ استخدام أي من تشكيلات القياس المعروفة (تشكيل وينر Wenner، تشكيل شلمبرجير Schlumberger، تشكيل ثنائي القطب Dipole-Dipole، ....) .

في حال استخدام تشكيل رباعي المساري متناظر يتم نقل المساري الأربعة مع بعضها البعض، بمعنى آخر ينقل التشكيل بمجملة بخطوات مناسبة (5 ، 10 ، 15 متر، .....) على طول خط القياس، وبذلك تتقدم جميع المساري بنفس المسافة على امتداد البروفيل وعند الانتهاء من المسح على هذا البروفيل ينقل نفس التشكيل إلى بروفيل آخر مجاور وتستمر هذه العملية حتى تغطي منطقة الدراسة بشبكة من البروفيلات المتوازية .

تمثل قيمة المقاومية الكهربائية المسجلة في كل محطة قياس، المقاومية الظاهرية لمركز التشكيل، وبما أن المساري الأربعة تنقل بنفس المسافة (مسافة ثابتة) فإن ثابت التشكيل يكون في هذه الحالة واحداً من أجل كل القياسات .

يمكن أن تطبق طريقة المسح الكهربائي الأفقي للتحري عن التغيرات الجانبية للمقاومية الكهربائية ضمن نطاقات عمقية متباينة، حيث ينفذ بروفيل القياس الواحد بأكثر من تباعد بين المساري AB، وبذلك نحصل على قيمتين أو أكثر للمقاومية الكهربائية في نفس محطة القياس .

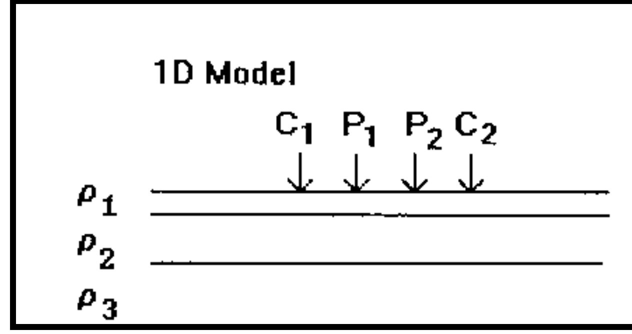
أن تغير المسافة بين المساري AB يعني بالضرورة تغير عمق الدراسة، لهذا تعبر التغيرات في قيم المقاومية الكهربائية عن التغيرات لخواص الوسط مع العمق، كما أنه من المؤكد أن مقدار المسافة بين المساري AB يعكس بشكل مباشر حجم تأثير التيار الكهربائي ضمن الوسط أو ما يسمى بنطاقات حساسية التشكيل، فعندما تكون المسافة AB صغيرة فإن حجم القطاع الذي يتأثر بالتيار الكهربائي يكون نسبياً صغيراً، وينحصر بشكل أساسي في النطاق السطحي.

يؤدي ازدياد المسافة بين المساري AB إلى انتشار التيار الكهربائي ضمن النطاق الثاني، وإذا كانت سماكة النطاق الأولى أقل من المسافة AB، فإن تأثير النطاق الثاني يكون أوضح، حيث يشغل النطاق الثاني في هذه الحالة الجزء الأكبر من حيز التأثير .

III. طريقة السبر الكهربائي الشاقولي

تهدف طريقة السبر الشاقولي إلى تحديد تغيرات المقاومية الكهربائية للوسط بدلالة العمق.

يعتمد مبدأ السبر الكهربائي الشاقولي على اعتبار الوسط المدروس مؤلف من عدد من النطاقات الأفقية أو القريبة من الأفقية كما في الموديل الموضح في الشكل (19) :



الشكل 19: الموديل النظري للسبر الكهربائي الشاقولي

تنفذ طريقة السبر الشاقولي عادة باستخدام تشكيل رباعي المساري مثل تشكيل شلمبرجير-Schlumberger المتناظر ($C_1P_1P_2C_2$) .

في البداية يتم اختيار مسافات صغيرة بين مساري التيار C_1C_2 بحيث تكون أقل من سماكة النطاق الأول (النطاق السطحي) ، وبذلك نضمن مرور معظم التيار في النطاق الأول، ثم بعد ذلك يتم زيادة المسافة بين مساري التيار C_1C_2 بشكل تدريجي بحيث يمر التيار إلى النطاقات الأعمق ، وعند كل مرة يتم فيها زيادة المسافة بين المساري تقاس المقاومية الكهربائية بدلالة المسافة C_1C_2 .

يؤدي تغير المسافة C_1C_2 عملياً إلى تغير توزع كثافة التيار ضمن الوسط الذي يمرر فيه التيار ، أي تتغير كثافة التيار مع العمق تحت منتصف التشكيل .

يعتبر استخدام طريقة السبر الشاقولي في مجال السدود ذات أهمية بالغة وخاصة من أجل تحديد التوضعات الجيولوجية الراشحة، وهذا ما أشارت إليه الدراسة التي أجريت على سد الكفرين في الأردن عام 2004 ، حيث كان لاستخدام السبور الجيوكهربائية الشاقولية الأثر الكبير في تحديد أماكن الرشح في منطقة الدراسة [9] ، وكذلك الأمر في دراستين نفذتا في نيجيريا في عامي 2007 و2008، [33.34] .

IV. طريقة السبر الكهربائي الأفقي – الشاقولي

يعتبر المسح الكهربائي الأفقي -الشاقولي أحد طرائق القياس الحديثة المستخدمة في مراقبة السدود التخزينية وتحديد النطاقات الراشحة سواء في جسم السد أو في بحيرة التخزين.

تعتمد هذه الطريقة على ميزات كلاً من طريقة المسح الكهربائي الأفقي وطريقة السبر الشاقولي معاً، وذلك بهدف تحديد تغيرات خواص الوسط المدروس ضمن مقطع ثنائي البعد.

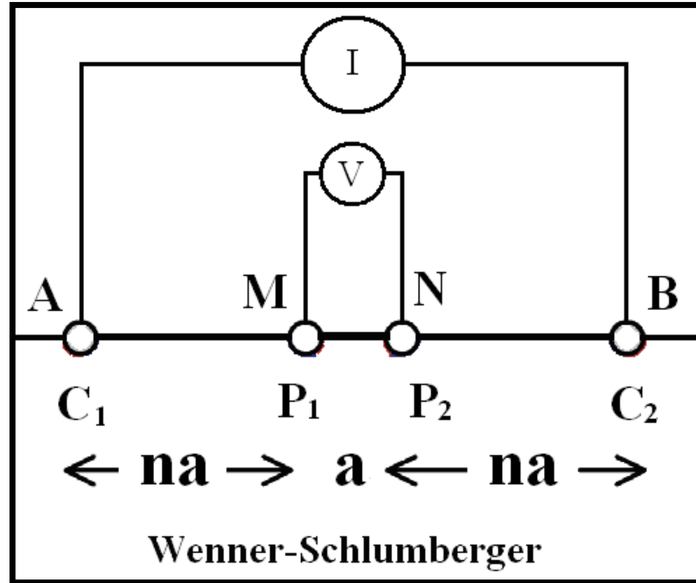
لتنفيذ المسح الكهربائي الأفقي – الشاقولي يستخدم عادة احد تشكيلات القياس الآتية :

- ♦ تشكيل وينر Wenner
- ♦ تشكيل شلمبرجير Schlumberger

♦ تشكيل وينر- شلمبرجير Wenner -Schlumberger
♦ تشكيل ثنائي القطب Dipole-Dipole

يعد من المفيد بمكان ذكر بعض التفاصيل عن تشكيل وينر- شلمبرجير Wenner -Schlumberger كونه يمثل أحد التشكيلات الهامة التي استخدمت في إطار هذه الدراسة في موقع سد سهوة الخضر ، حيث يعود سبب اختيار هذا التشكيل إلى الميزات التي يتصف بها ، سيما وأنه يجمع بين ميزات كلاً من تشكيلي وينر Wenner و شلمبرجير Schlumberger.

إن أهم ميزات هذا التشكيل هو قدرته العالية على التميز بين نطاقات المقاومية الكهربائية، التي تساعد على تحديد أعماق التوضعات الجيولوجية بدقة عالية، ويظهر الشكل (20) أوضاع مساري هذا التشكيل [11].



الشكل20: شكل توضيحي لتشكيل Wenner –Schlumberger

حيث:
a : تمثل المسافة بين مساري الكمون.
n : عدد السويات العمقية ضمن محطة القياس الواحدة.

عند تنفيذ القياسات يتم تحريك مساري التيار بحيث تبتعد في كل مرة عن مساري الكمون بمقدار المسافة a مع بقاء مسافة مساري الكمون ثابتة ، وبذلك يتم الانتقال من سوية عمقية n إلى السوية التي تليها n+1 حتى الوصول للعمق الاستكشافي المطلوب، وتحدد قيم المقاومية الكهربائية باستخدام هذا التشكيل بعد حساب قيم ثابت التشكيل حسب العلاقة الرياضية الآتية :

$$K= \pi \, n \, (n+1) \, a \qquad (9)$$

4.1.1.2.2. استخدام قياسات المقاومية الكهربائية في السدود الركامية

استخدمت قياسات المقاومية الكهربائية في السنوات العشرة الأخيرة على نطاق واسع في الدراسات البيئية وخاصة في مواقع السدود الركامية 'Tailings Dams' [12.29]، حيث لعبت هذه القياسات دوراً هاماً في تقييم حالة السدود التخزينية ومراقبتها، ويعتبر تحديد نطاقات الرشح من أهم المهام التي تلقى على عاتق قياسات المقاومية الكهربائية، وبناء على ذلك يتم هنا ذكر بعض الدراسات السابقة المنفذة في مواقع السدود الركامية :

I. دراسة جيوكهربائية قامت بها جامعة Luleå في مواقع السدود الركامية كيرونا وإيتيك وكريستينبرغ Kiruna, Aitik and Kristineberg في السويد عام 2006 [29].
II. دراسة آخرى مشابهة تم تنفيذها في مواقع سدود هيلباي و سيدفا 'Hällby and Sädva Dam' الركامية في السويد أيضاً عام 2003 . [12].
III. دراسة جيوكهربائية قامت بها مؤسسة Action Conter La Faim (ACF) عام 2005 ضمن مشروع يهدف للتنقيب عن المياه الصالحة للشرب في منطقة AFAR في 'إثيوبيا' [30].

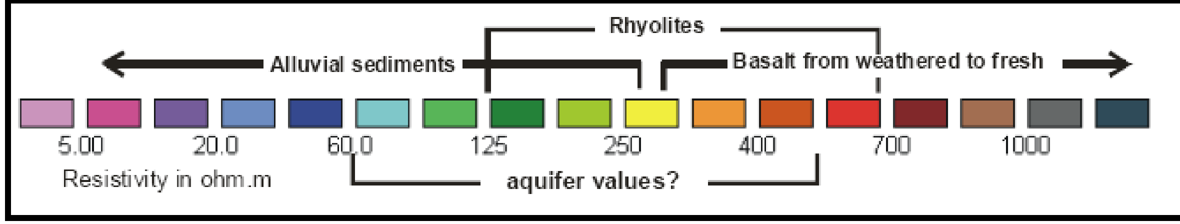
نظراً لتشابه الدراسة الثالثة المذكورة أعلاه مع موضوع هذه الأطروحة سوف نعرض مضمون هذه الدراسة وبعض النتائج التي توصلت إليها .

نفذت هذه الدراسة بغية تحديد النطاقات المشبعة بالمياه ضمن الصبات البازلتية، واعتمدت على إستخدام برنامج معالجة المعطيات الخاص بقياسات المقاومية الكهربائية Res2dinv، بغية تحديد نطاقات الإشباع المائي وكذلك تحديد أماكن توزع الصبات البازلتية القاسية والفاسدة، ومحاولة تميزها عن التوضعات المكونة من الحجارة و الحصى البازلتية و التوضعات الغضارية.

تدل المعطيات في هذا الموقع على أن قيم المقاومية الكهربائية للنطاق المشبع بالمياه في هذه المنطقة منخفضة نسبياً (تتراوح ما بين 60 Ω.m و 100 Ω.m)، وهذا النطاق يقع بدوره ضمن نطاق عالي المقاومية تصل فيه قيم المقاومية الكهربائية إلى ما يزيد عن 1000 Ω.m .

يعبر النطاق منخفض المقاومية الكهربائية عن توضعات مشققة ومفككة من الصبات والحجارة والحصى البازلتية الفاسدة التي تمتلئ فراغاتها وشقوقها بالمياه وتتداخل مع التوضعات الغضارية .

توصلت هذه الدراسة إلى فصل التوضعات الجيولوجية الموجودة في الموقع المذكور بناءً على قيم المقاومية الكهربائية على النحو الآتي:



الشكل 21: تقسيم التوضعات الجيولوجية بناءً على قيم المقاومية الكهربائية [30]

يمكن تلخيص النتائج الواردة في هذا الشكل كما يلي :

- تتراوح قيم المقاومية الكهربائية للتوضعات المفككة التي تنتج عن تجوية الصبات البازلتية بين 250 Ω.m عندما تكون على شكل توضعات رملية و سلتية وتصل إلى 5Ω.m عندما تكون على شكل غضار نقي تقريباً .
- تتراوح قيم المقاومية الكهربائية لتوضعات الريوليت مابين 125 Ω.m و 700 Ω.m وذلك حسب درجة التجوية والفساد الكيميائي التي تعرضت لها.
- تتزايد قيم المقاومية الكهربائية للصبات البازلتية من 250 Ω.m في التوضعات التي تعرضت إلى درجة تجوية وفساد كيميائي كبيرة إلى أن تتجاوز 1000 Ω.m في التوضعات القاسية الحديثة.
- تصل قيم المقاومية الكهربائية للنطاقات المشبعة بالمياه الراشحة إلى 60 Ω.m عندما تكون هذه النطاقات ذات طبيعة رملية وسلتية ، و ترتفع إلى قيم عالية نسبياً حوالي 500Ω.m عندما تكون ذات طبيعة بازلتية مشققة أو فراغية.
- ينخفض بشكل كبير احتمال وجود نطاقات مشبعة بالمياه الراشحة ضمن الصبات البازلتية عندما تزيد مقاوميتها عن 500Ω.m.

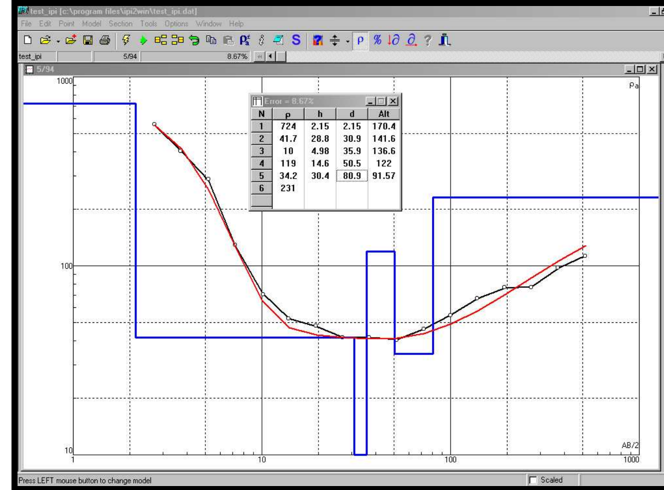
تبين هذه الدراسة أنه ليس من الضرورة أن تكون التوضعات الجيولوجية ذات المقاوميات الكهربائية المنخفضة في قياسات المقاومية الكهربائية هي التوضعات المشبعة بالمياه في المنطقة ، حيث لوحظ من خلال هذه الدراسة أن قيم المقاومية الكهربائية في التوضعات الغضارية التي تعتبر توضعات كتيمة هي أدنى من التوضعات الرملية المشبعة بمياه راشحة، وإن كانت هذه التوضعات الأخيرة تأخذ قيماً منخفضة نسبياً في قياسات المقاومية الكهربائية وهذا يتوافق مع نتيجة دراسة أخرى نفذتها جامعة Warsaw في بولندا على وادي نهر Vilnius عام 2008 لتحديد النطاق المشبع بالمياه ضمن التوضعات الرملية، حيث كانت قيم المقاومية الكهربائية لهذا النطاق 150 Ω.m تقريباً بينما كانت قيم المقاومية الكهربائية للتوضعات الغضارية بحدود 10 Ω.m. [25].

4.1.1.2.3. البرامج الحاسوبية المستخدمة في معالجة الطرائق الجيوكهربائية

البرنامج المستخدم في معالجة السبور الكهربائية الشاقولية:

I. البرنـــامج IPI2win

يستخدم هذا البرنامج في معالجة منحنيات السبر الكهربائي الشاقولي بشكل كمي ، حيث ُيمثل المنحني المقاس مع المنحني المحسوب وتجرى عملية المطابقة الآلية حسب الموديل الجيوكهربائي المفترض كما هو واضح في الشكل الآتي:



الشكل 22: معطيات البرنامج IPI2win

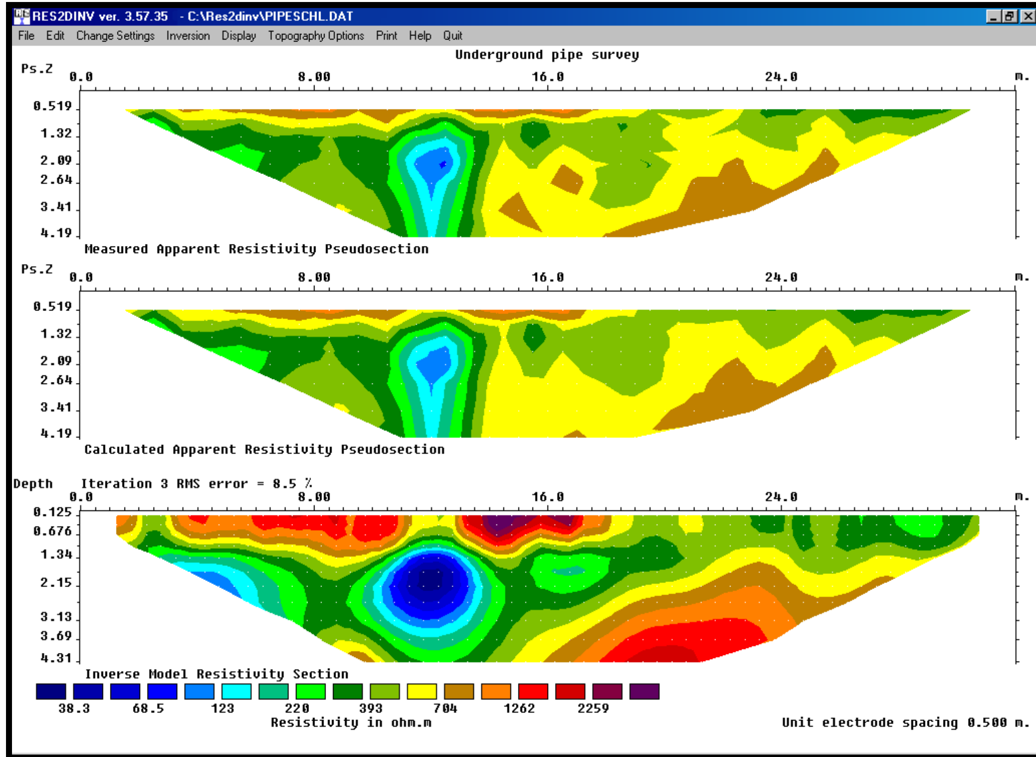
تعرض نتائج التفسير في جدول يتضمن عدد النطاقات في المقطع والمقاوميه الكهربائية والسماكة لكل نطاق ، كما يعرض منحني المقاومية الكهربائية للموديل المحسوب لإظهار درجة التطابق ، ويتميز هذا البرنامج بما يلي [32] :

- قدرته العالية على خفض مقدار الخطأ النسبي أثناء التفسير.
- الدقة العالية في تمييز التوضعات الجيولوجية من خلال قيم المقاومية الكهربائية

البرامج المستخدمة في معالجة السبور الكهربائية الأفقية الشاقولية

I. البرنامج RES2DINV

يستخدم هذا البرنامج من أجل عملية النمذجة الآلية للمقاطع ثنائية البعد المنفذة باستخدام طريقة السبر الأفقي – الشاقولي .

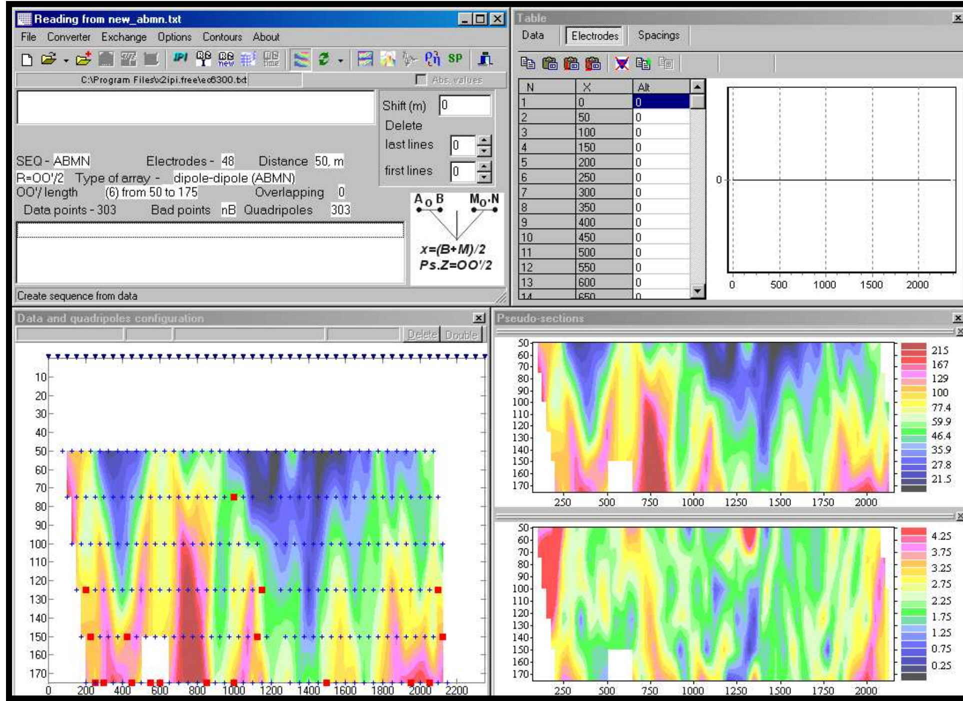


الشكل 23: معطيات البرنامج RES2DINV

يستخدم في هذا البرنامج تقنية متطورة للمعالجة تعتمد على الطرائق الرياضية الآتية finite-difference و finite-element ، كما ويمكن لهذا البرنامج التعامل مع معطيات القياسات البئرية أيضاً [18].

.II البرنامج X2IPI

استخدم البرنامج X2IPI في إطار هذه الدراسة كبرنامج تكميلي للبرنامج 2DINVESION التابع للبرنامج السابق Res2dinv



الشكل 24: معطيات البرنامج X2IPI

يساعد هذا البرنامج في عملية صقل قيم المقاومية الكهربائية الظاهرية المقيسه في الحقل ، وكذلك في مجال التصحيحات الطبوغرافية لقيم المقاومية الكهربائية الظاهرية لجعل عملية المعالجة أسهل عند استخدام البرنامج السابق[7].

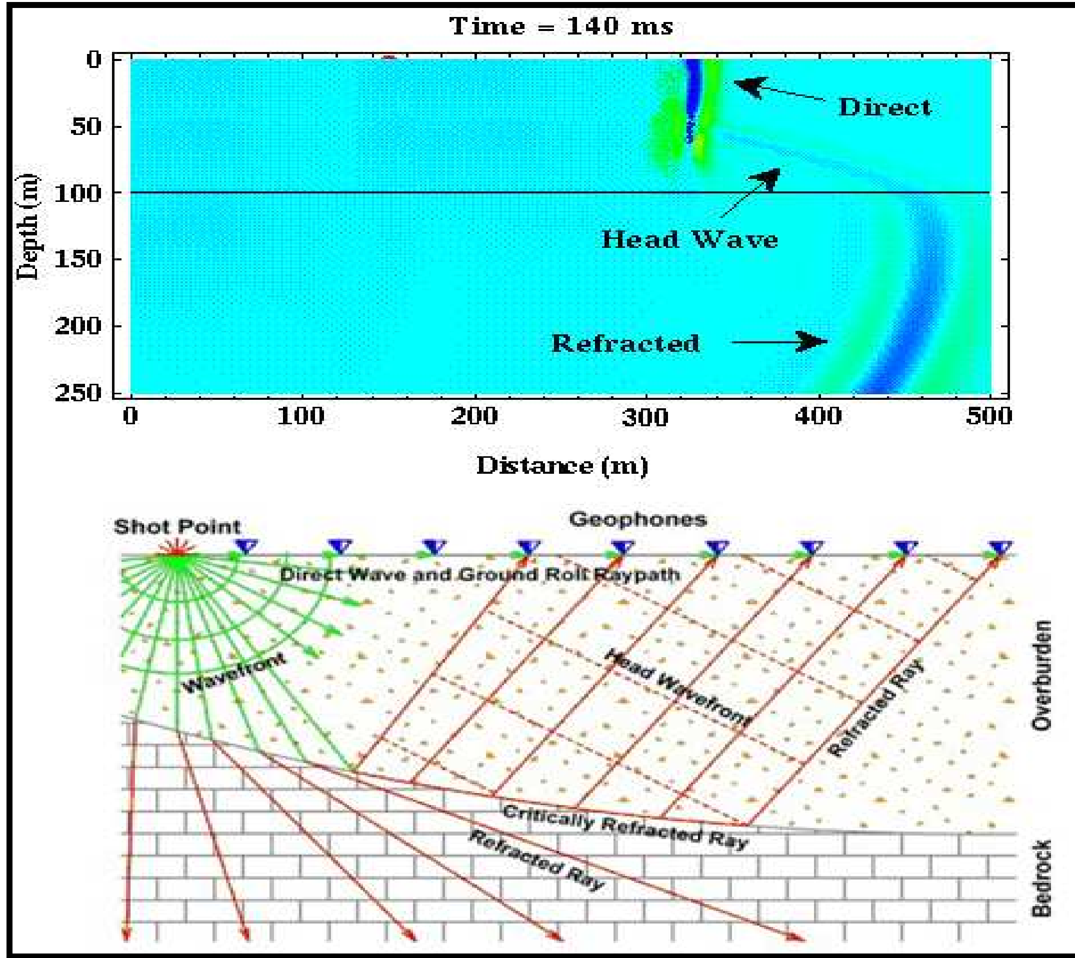
4.1.2. الطريقة السيزمية الانكسارية

4.1.2.1. مبادئ أساسية

تعرف الطريقة السيزمية بأنها الطريقة التي تعتمد على مبدأ انتشار طاقة الأمواج السيزمية التي تنتج عن منبع صنعي في الأرض، حيث يتم من خلال هذه الطريقة قياس عبر لواقط (جيوفونات) خاصة شكل وطاقة الأمواج المرتدة عن التوضعات الجيولوجية من خلال الزمن ، وبناءً على ذلك يتم حساب مجموعة من المعاملات التي تحدد هوية هذه التوضعات.

يرتبط انتشار الطاقة السيزمية ضمن التوضعات الجيولوجية المدروسة بشكل مباشر بدرجة تماسك هذه التوضعات من جهة، إضافة إلى مقدار مرونة أو لدونة هذه التوضعات من جهة ثانية، فإذا أثرت قوة خارجية على سطح فاصل بين توضعات جيولوجية مختلفة فإنه ينشأ في التوضعات الجيولوجية تحت هذا السطح قوة داخلية معاكسة لهذه القوة الخارجية، بحيث تبدي القوة الداخلية مقاومة لتغيير شكل أو حجم هذه التوضعات، وتحاول إعادتها إلى وضعها الطبيعي الذي كانت عليه قبل تأثير القوة الخارجية عليها عند زوال تلك الأخيرة، ومن الجدير ذكره هنا أن طاقة الأمواج السيزمية الناتجة عن التوضعات الجيولوجية تتوافق مع القوة الداخلية المقاومة لهذه التوضعات، وبما أن كثافة التوضعات الجيولوجية محكومة بطبيعة هذه التوضعات، فإنه يمكن القول أن طاقة الأمواج السيزمية تعتبر مؤشراً مهماً على طبيعة التوضعات الجيولوجية [21].

تنتشر الأمواج السيزمية في التوضعات الجيولوجية على أنصاف كرات تقريباً كما في الشكل الآتي:



الشكل25 : شكل توضيحي لكيفية انتشار الأمواج السيزمية بنوعيها (الإنكسارية والمباشرة ضمن الأوساط المرنة)[21]

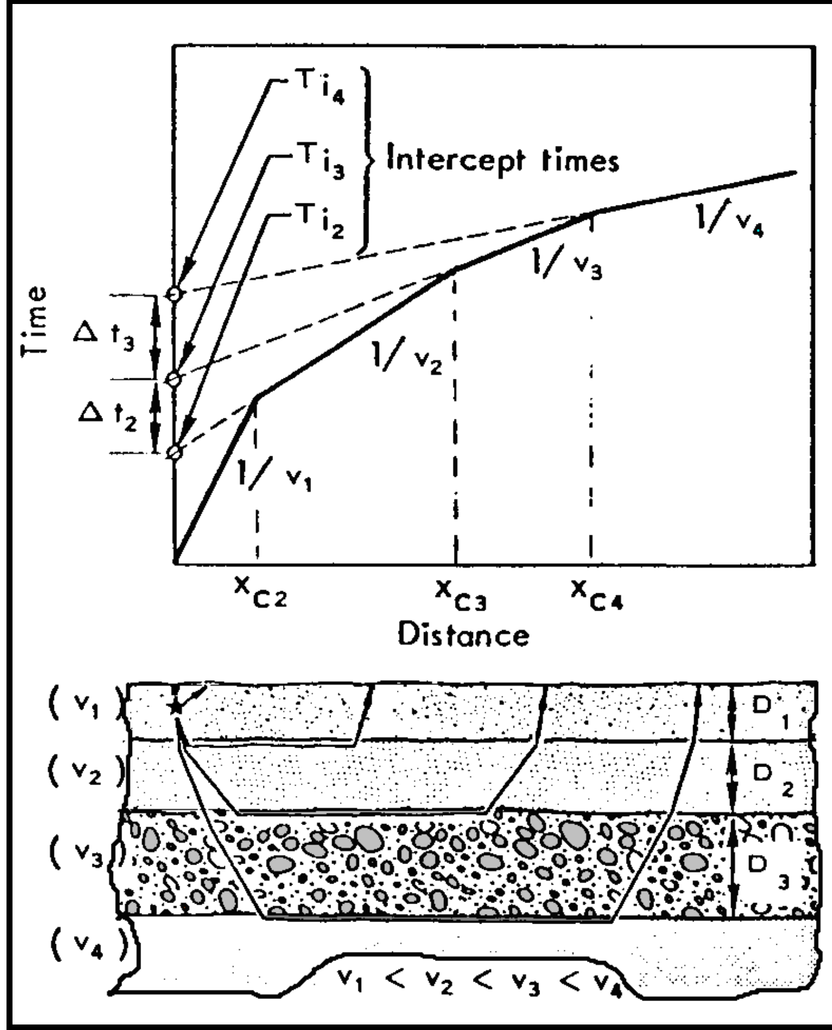
بناء على الشكل السابق فإن الوصولات الأولية للأمواج السيزمية الإنكسارية يمكن حسابها كما يلي :

يمكن بشكل عام حساب كل من أزمنة الوصولات الأولية وحساب أعماق السطوح الفاصلة من خلال العلاقات الآتية[21.23] :

$$t = \frac{x}{v_n} + 2\sum_{K=1}^{K=n-1} \frac{d_k . \cos(i_k)}{v_k} \qquad (10)$$

ومعادلة أعماق السطوح الفاصلة [5.43] هي:

$$d_{n-1} = \frac{v_{n-1}}{2\cos i_{n-1,n}}\left[T_{in} - 2\sum_{K=1}^{K=n-2}\frac{d_K \cos i_{Kn}}{V_K}\right] \qquad (11)$$



الشكل 26: شكل توضيحي يظهر منحني الموجة الإنكسارية الناتج عن عدة نطاقات ذات سرع مختلفة ، [21]

4.1.2.2. استخدام الطريقة السيزمية الإنكسارية في السدود الركامية

تعد مقارنة السرع السيزمية للتوضعات الجيولوجية الحقلية مع السرع السيزمية لنفس هذه التوضعات في الحالة الصرفة، أمراً مفيداً لمعرفة فيما إذا كانت التوضعات الحقلية حاوية على فراغات أو فيما إذا كانت فراغاتها حاوية على سوائل، لذلك من المفيد التنويه عن سرع بعض التوضعات الجيولوجية الصرفة والتي تظهر من خلال الجدول الآتي [39.40] .

Material	V_p m.s^{-1}
الهواء	330
الماء	1450-1530
السلت	300-600
التربة الزراعية	100-500
السلت الرملي	200-2000
السلت الرملي الجاف	200-1000
السلت الرملي المشبع بالمياه	1500-2000
الرمل والحصى القريبة من سطح الأرض	400-2300
الرمل والحصى القريبة من سطح الأرض على عمق 2 كيلو متر	3000-3500
الغضار	1000-2500
طمي الفيضان	1800-2200
البازلت	5500-6500
التربة المفككة	180-335

الجدول 1: سرع بعض التوضعات الجيولوجية الصرفة [39]

استخدمت الطريقة السيزمية الإنكسارية في السنوات الأخيرة لحل مسائل جيوهندسية كثيرة ومنها على سبيل المثال تحديد عمق صخر الأساس، ومواقع الفجوات والشقوق، و تحديد نطاقات عدم التجانس في التوضعات الجيولوجية، وقد تم في هذه الدراسة استخدام الطريقة السيزمية في مجال السدود الركامية لتحديد أماكن عدم التجانس الناتجة بشكل رئيسي عن النطاقات المشققة والمفككة و نطاقات الفجوات ضمن التوضعات الجيولوجية التي تظهر من خلال القياسات السيزمية الإنكسارية على شكل نطاقات ذات سرع منخفضة ، إضافة إلى كونها تظهر انقطاع أو ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة.

لابد من الإشارة هنا إلى أن إجراء التكامل بين القياسات السيزمية والقياسات الكهربائية يؤدي إلى نتائج مهمة جداً كما تشير العديد من الدراسات [16]، فلقد تبين أنه يمكن استخدام الطريقة السيزمية لتمييز القيم العالية نسبياً للمقاومية الكهربائية فيما إذا

كانت ناتجة عن الصخور البركانية المشققة والمفككة والهشة أو فيما إذا كانت الصخور البركانية الصلبة والمتماسكة والمصمتة، وذلك من خلال شدة الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة الواضحة والمتواصلة الناتجة عن تلك الأخيرة، بينما تكون الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة الناتجة عن الرماد أو الرمل البركاني أو الحصى والحجارة والصبات البازلتية المشققة والمفككة ضعيفة ومتقطعة .

يعد من المهم بمكان هنا ذكر بعض الدراسات السابقة حول استخدام المسح السيزمي الإنكساري في مواقع مشابه لموقع هذا البحث .

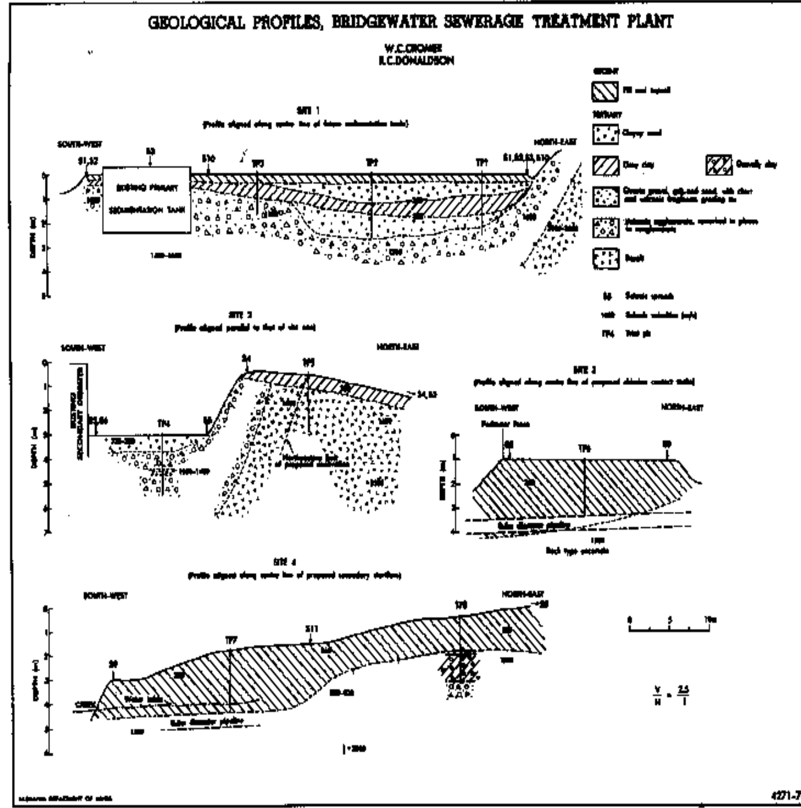
I. الدراسة الأولى:

تمثل دراسة جيوفيزيائية لتوضعات رسوبية غضارية و توضعات أخرى بازلتية، حيث تركز على طبيعة هذه التوضعات و على أحجامها ، إضافة إلى دراسة الشقوق والفراغات الموجودة ضمن الصبات البازلتية [10].

تتشكل التوضعات الجيولوجية في منطقة (Bridgewater) من توضعات رسوبية بالإضافة إلى الصبات البازلتية ، مع وجود خليط من الصخور البيروكلاستية.

لا تتكشف الصخور البازلتية على السطح في هذه المنطقة بل تتغطى بنطاق من التربة الزراعية الغضارية تتراوح سماكته بين 0.5 متر إلى 1 متر.

تم تنفيذ أحدى عشر بروفيلاً سيزمياً إنكسارياً ضمن أربعة مواقع بهدف تحديد طبيعة وعمق صخور الأساس الموجودة إضافة إلى تحديد امتدادات وأعماق النطاقات المشققة في تلك المواقع ، ويبين الشكل (27) أهم المقاطع الجيولوجية في المنطقة .



الشكل27: المقاطع الجيولوجية لأماكن البروفيلات السيزمية المنفذة في منطقة الدراسة

بناءً على نتائج القياسات السيزمية قسمت التوضعات الجيولوجية الموجودة المنطقة إلى النطاقات الآتية :

النطاق الأول: تتراوح السرع السيزمية في هذا النطاق بين $300\ m.s^{-1}$ و$500\ m.s^{-1}$ تمثل القيم العليا في هذا المجال تربة زراعية جافة أو توضعات رسوبية تحوي على نسبة كبيرة نسبياً من الفراغات الجافة، بينما تمثل القيم الدنيا في هذا المجال$330\ m.s^{-1}$ السرعة الصوتية، وهذا بدوره يشير إلى وجود توضعات مخلخلة مفككة.

النطاق الثاني: تتراوح السرع السيزمية في هذا النطاق بين $700\ m.s^{-1}$ و $1500\ m.s^{-1}$ ، تمثل القيم الدنيا للسرع في هذا المجال توضعات رسوبية تحوي على فراغات ولكنها أكثر تماسكاً من التوضعات في المجال السابق، بينما تمثل القيم العليا للسرع في هذا المجال رسوبات مشبعة بالمياه بنسب مختلفة ولكنها في نفس الوقت يمكن أن تمثل توضعات حصوية أو كونغلوميراتية أو يكمن أن تمثل توضعات بازلتية مشققة أو معرضة للتجوية بشكل كبير.

النطاق الثالث: تتراوح السرع السيزمية في هذا النطاق بين $1400\ m.s^{-1}$ و $1900\ m.s^{-1}$، يمثل هذا المجال توضعات حصوية أو كونغلوميراتية من جهة ومن جهة أخرى يمكن أن يمثل توضعات بازلتية مشققة أو معرضة للتجوية بشكل كبير.

النطاق الرابع: تتراوح السرع في هذا النطاق بين $2500\ m.s^{-1}$ و $4500\ m.s^{-1}$، توافق هذه السرع مع البازلت الذي تعرض للتشقق و التجوية بدرجات مختلفة.

II. الدراسة الثانية :

هي عبارة عن دراسة جيوفيزيائية لتحديد خصائص ومواصفات السدود الركامية وقد تم أخذ مثال عن ذلك (du Center) في فرنسا عام 2005 [20].

تقدم هذه الدراسة ملخص عن استخدام الطرائق الجيوفيزيائية في تحديد نطاقات الرشح الموجودة ضمن (Canal du Center) والتي يلاحظ وجودها بشكل عام في مواسم فيضان نهر (Dheune) الموجود في قرية (Rémigny) الفرنسية.

من خلال مقارنة نتائج القياسات السيزمية الإنكسارية المنفذة مع نتائج الآبار المحفورة في المنطقة يمكن القول أن التوضعات ذات السرع السيزمية المنخفضة نسبيا ($500\ m.s^{-1}$) تمثل بشكل عام توضعات مارلية كتيمة، بينما تمثل التوضعات الجيولوجية ذات السرع السيزمية العالية والتي تصل حتى ($4000\ m.s^{-1}$) توضعات كلسية ، حيث تعتبر هذه التوضعات في حال وجود الشقوق فيها توضعات راشحة.

III. الدراسة الثالثة :

تشمل دراسة تقييميه نفذتها جامعة Minnesota استخدمت فيها القياسات السيزمية الإنكسارية كطريقة جيوفيزيائية في تقييم مشكلة الرشح في سد تم بناؤه في بدايات التسعينات من القرن الماضي على نهر (Nimadi River) في إقليم (Carlton)، وقد ثبت عدم جدوى هذا السد نتيجة نسبة الرشح الكبيرة جداً من خلال أكتاف وقاع البحيرة [15].

بناءً على نتائج القياسات السيزمية الإنكسارية تم تقسيم المنطقة المدروسة إلى أربعة نطاقات وهي :

- نطاق أول عمقه 0.7 متر يتميز بسرع سيزمية منخفضة نسبياً ($154\ m.s^{-1}$).
- نطاق ثاني يتوضع على عمق يتراوح مابين 0.7 متر و8.2 متر تبلغ السرعة فيه حدود ($940\ m.s^{-1}$).
- نطاق ثالث تصل السرع السيزمية في هذا النطاق إلى حدود ($1690\ m.s^{-1}$).
  نطاق رابع تصل السرع السيزمية فيه ($2760\ m.s^{-1}$).

تقدر المسامية في هذه التوضعات بحدود % 50، وتتوافق السرع السيزمية في النطاق الرابع مع التوضعات الرملية المشبعة بنسب مختلفة من المياه.

كما لوحظ ضعف في الوصولات الأولية الناتجة عن النطاق الثالث ويعتقد أن سبب هذا الضعف وجود نطاق فالقي.

يلاحظ في منطقة الدراسة وجود كميات كبيرة من التوضعات الغضارية، التي تغطي أغلب أجزاء المنطقة وبسماكات كبيرة في معظم الأماكن ولكن ما يحدث في بعض

الأجزاء من منطقة الدراسة هو أنه عندما تكون سماكة التوضعات الغضارية قليلة نسبياً يؤدي ازدياد الضغط المائي على هذه الأجزاء نتيجة ارتفاع سماكة المياه بفعل امتلاء البحيرة بالمياه إلى اندفاع المياه عبر التوضعات الغضارية إلى الشقوق والفراغات الموجودة في صخور الأساس وحدوث الرشح.

4.1.2.3. البرامج الحاسوبية المستخدمة في معالجة وتفسير نتائج القياسات السيزمية الإنكسارية

تم استخدام البرنامج الحاسوبي Ra2dTomo في معالجة وتفسير الوصولات الأولية للأمواج الانضغاطية (P Wave) للقياسات السيزمية الإنكسارية المنفذة في منطقة الدراسة، و يذكر أن هذا البرنامج تم اعتماده في عدد من الدراسات المهمة وخاصة في الدراسات التي قام بها معهد Leibniz للجيوفيزياء التطبيقية في Hannover في ألمانيا و قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء في جامعة Calgary في كندا إضافة إلى مركز UFZ للأبحاث البيئية في Leipzig في ألمانيا عام 2006 [19] ، وتم أيضاً استخدام هذا البرنامج في دراسة جيوفيزيائية نشرت في عام 2009 نفذت على سد Prätisbach في النمسا وذلك بغية تحديد النطاقات الحاوية على شقوق أو فراغات جافة أو تحوي على مياه راشحة [45] .

مواصفات البرنامج Ra2dTomo*:

يتصف هذا البرنامج بالصفات الآتية [38] :

يتعامل هذا البرنامج مع الوصولات الأولية للأمواج الانضغاطية الإنكسارية.

يقوم البرنامج بعملية التصحيح الطبوغرافي بشكل آلي وذلك عند إدخال الارتفاع الطبوغرافي للواقط والمنبع.

يمكن من خلال هذا البرنامج ضم عدة قياسات سيزمية بجانب بعضها البعض ضمن بروفيل واحد.



الشكل28: شكل توضيحي لبرنامج Ra2dTomo

4.2. القياسات الجيوفيزيائية الحقلية

نفذت الدراسة الجيوفيزيائية في سد سهوة الخضر خلال عامي 2007 - 2008 وعلى فترات متقطعة حسب ما تسمح به الظروف المناخية وشروط العمل الحقلي .

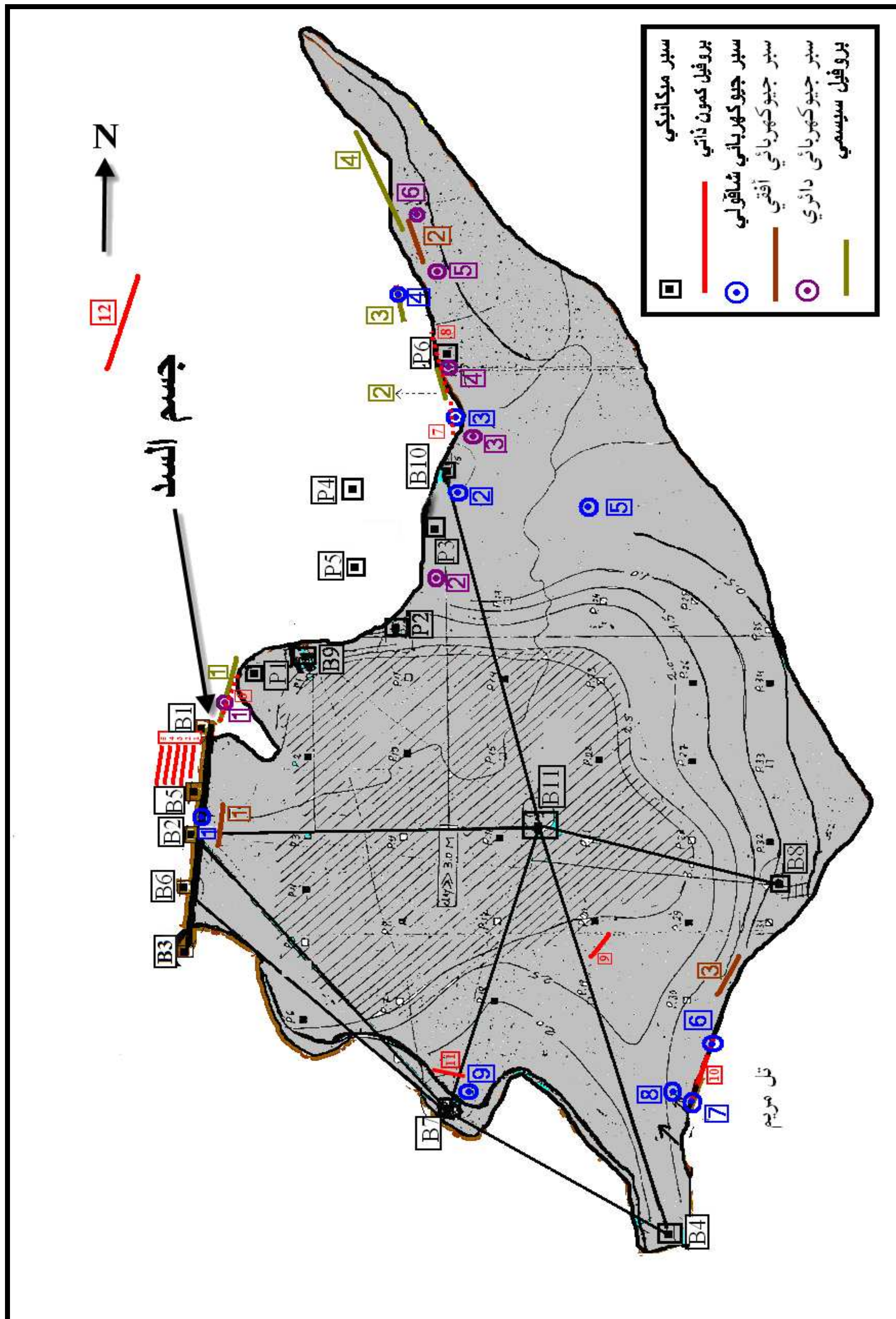
ركزت معظم فترات العمل الحقلي على الفترة الزمنية التي يكون فيها مستوى التخزين في بحيرة السد أعلى ما يمكن والضغوط الناتجة عن ذلك كبيرة نسبياً، ولكن معدل الوارد المائي إلى البحيرة لم يكن كبيراً خلال عامي 2007 - 2008 ، ولم ترتفع المياه في البحيرة إلى أكثر من 3.5 متر (2.5 مليون متر مكعب) من أصل 8 متر (منسوب التخزين المائي الأعظمي للسد).

تضمنت الدراسة الجيوفيزيائية الحقلية المنفذة في هذه المنطقة تنفيذ بروفيلات جيوفيزيائية في مواقع محددة موزعة على المناطق الآتية :

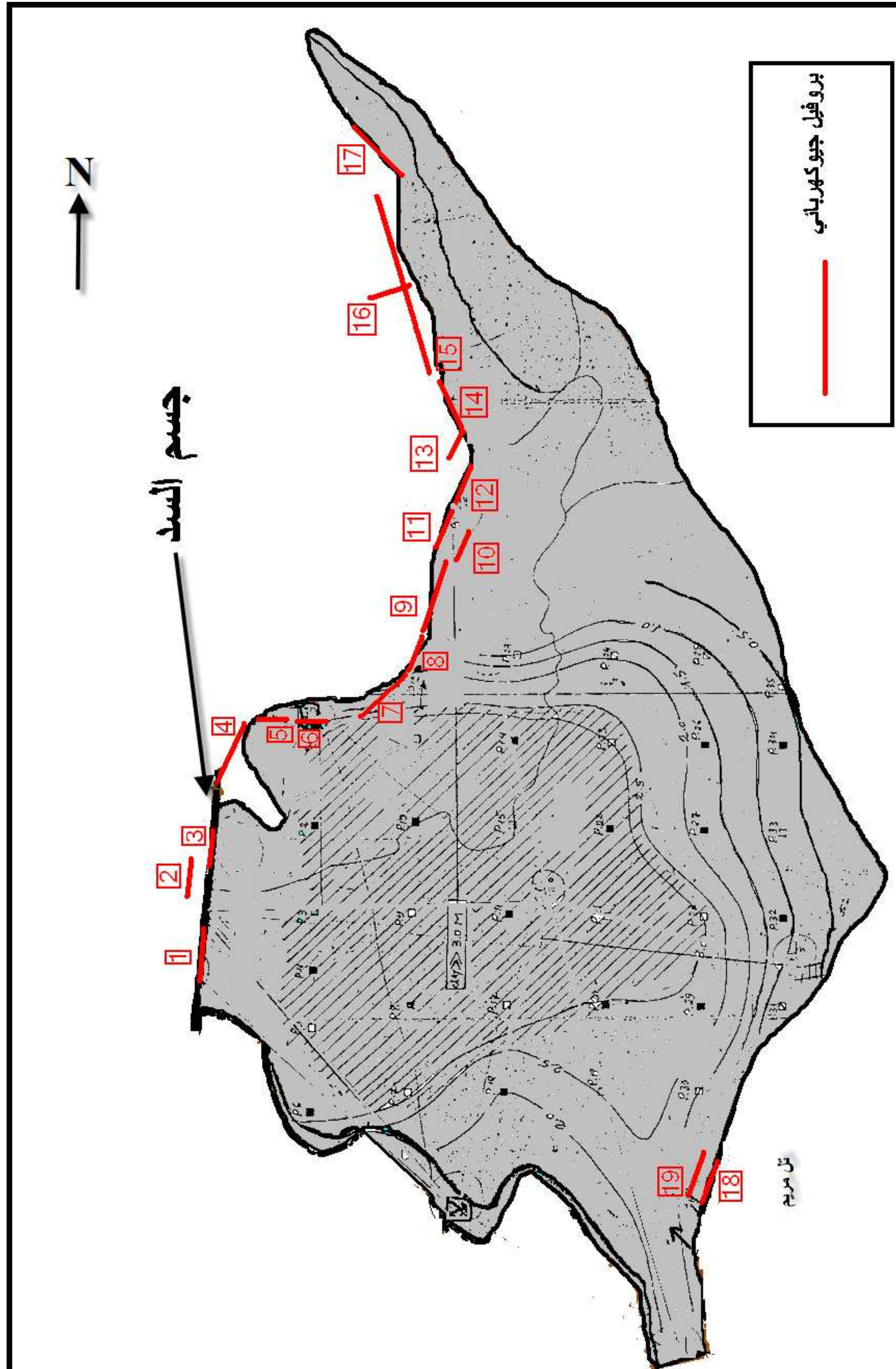
- جسم السد
- البحيرة
- أكتاف البحيرة

ركزت هذه الدراسة على قطاعات هامة كالقطاع الغربي للبحيرة مثلاً كون هذه القطاعات هي موضع الاعتقاد بوجود نطاقات راشحة لمياه السد وذلك بناء على خصائص توضعاتها الجيولوجية وصفاتها الصخرية .

يبين الشكل (29) أماكن توزع السبور الميكانيكية وخطوط القياس المنفذة في منطقة الدراسة، كما يلاحظ أيضاً في الشكل (30) توزع خطوط القياس الأفقية الشاقولية ضمن منطقة الدراسة والتي تركزت بمعظمها على جسم السد والكتف الغربي للبحيرة .



الشكل 29: أماكن توزع السبور الميكانيكية وخطوط القياس



الشكل 30: توزع خطوط القياس الأفقية الشاقولية ضمن منطقة الدراسة

4.2.1. القياسات الجيوكهربائية على قطاع جسم السد

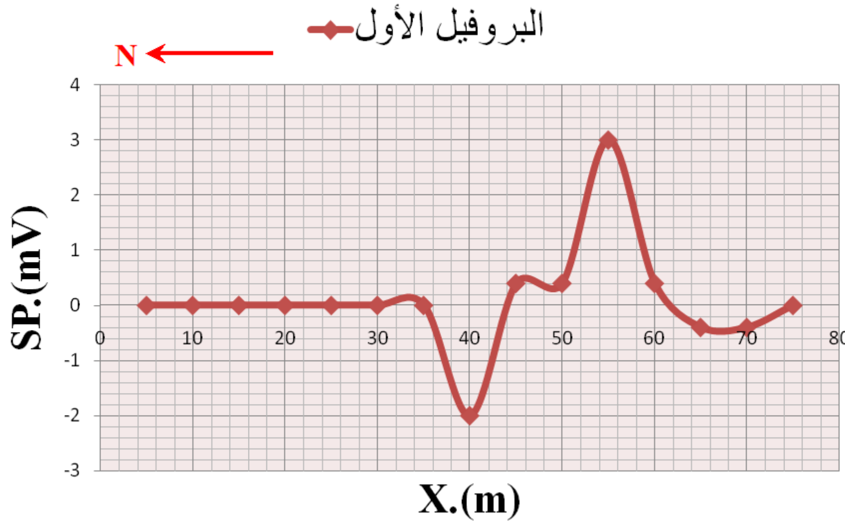
ضمن إطار هذه الدراسة نفذت على قطاع جسم السد القياسات الجيوكهربائية الآتية :

4.2.1.1. قياسات الكمون الذاتي

نفذت مجموعة من البروفيلات في المنطقة الواقعة خلف جسم السد، وهي على التوالي:

- **البروفيل الأول :**

يقع هذا البروفيل مباشرة خلف جسم السد ويأخذ منحى شمال- جنوب، وقد سجلت قيم الحقل الكموني الكلي في 15 محطة قياس تبعد عن بعضها البعض مسافة 5 متر .



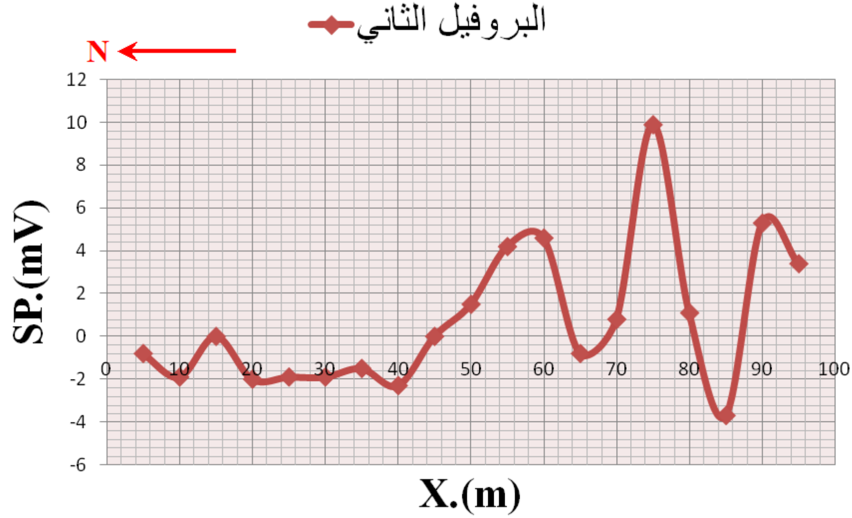
الشكل 31: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الأول

يُظهر الشكل السابق تغيرات الكمون الذاتي على طول هذا البروفيل، ويلاحظ وجود شاذات واضحة في محطتين : في محطة القياس الثامنة التي تبعد 40 متر عن بداية البروفيل سجل شاذ سالب للكمون الذاتي بلغت قيمته -2 m.V ، وهي تدل على تغير في معدل الإشباع المائي للتوضعات الجيولوجية المتواجدة في أسفل السد .

في محطة القياس الحادية عشرة التي تبعد 55 متر عن بداية البروفيل سجلت قيم موجبة للكمون على شكل شاذ بلغت قيمته بحدود 3 m.V + وهي ناتجة على الأغلب عن ازدياد نسبة التوضعات الغضارية ضمن هذا النطاق .

◆ **البروفيل الثاني :**

نفذ هذا البروفيل بشكل موازٍ للبروفيل الأول ويتكون من 18 محطة قياس لقيم الحقل الكلي، حيث تظهر نتائجها على الشكل الآتي:

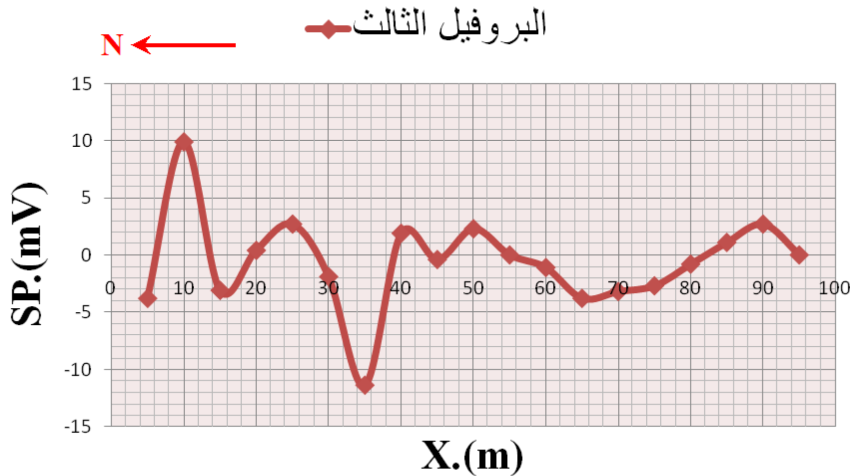


الشكل32: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الثاني

يُظهر الشكل السابق تغيرات قيم الكمون الذاتي على طول هذا البروفيل ، ويلاحظ وجود شاذات واضحة في الجزء الأخير من هذا البروفيل ، تتراوح حدود قيم الكمون الذاتي في هذا الجزء بين‎ + 10 m.V و ‎-4 m.V.

◆ **البروفيل الثالث:**

يتألف هذا البروفيل من 18 محطة قياس لقيم الحقل الكلي تظهر نتائجها على الشكل الآتي:

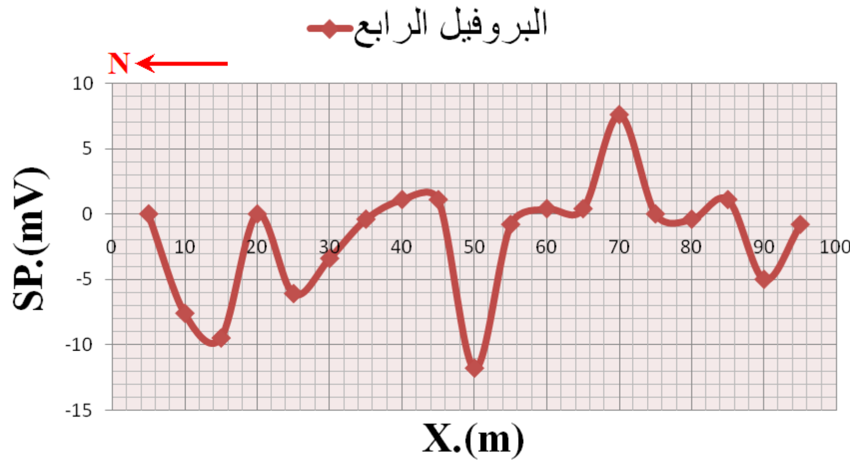


الشكل33: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الثالث

يُظهر الشكل السابق وجود شاذ للكمون الذاتي في بداية هذا البروفيل على بعد يتراوح ما بين 5 متر و 40 متر ، وتتراوح قيم الكمون الذاتي في هذا الجزء ما بين m.V 10 + و m.V 11- ، ضمن هذا المجال يكمن القول أن هذه الشاذات تدل على وجود توضعات بركانية مفككة حاوية على شقوق راشحة .

- **البروفيل الرابع:**

يبعد هذا البروفيل مسافة 5 متر عن البروفيل الثالث ويتألف من 18 محطة قياس لقيم الحقل الكلي تظهر نتائجها على الشكل الآتي:

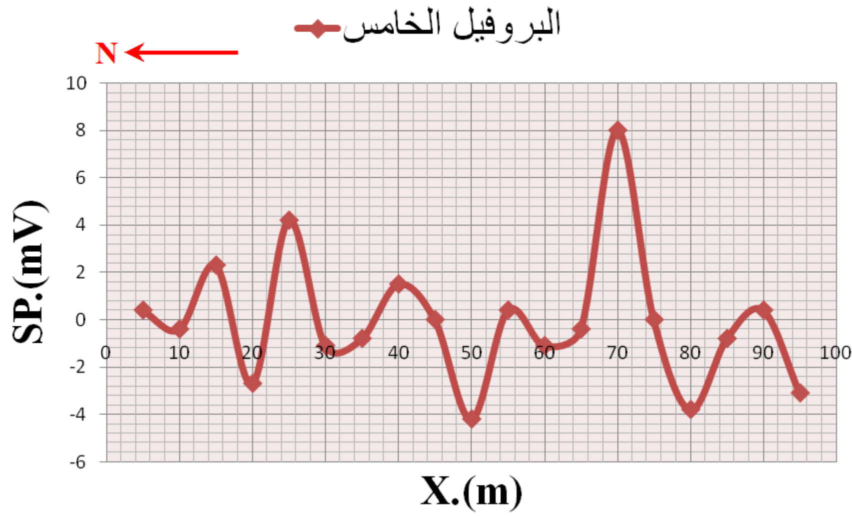


الشكل34: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الرابع

يظهر هذا البروفيل شاذات سالبة هامة من الناحية الرشحية تصل حتى m.V 12- ، وهي ناتجة على الأغلب عن وجود رشح للمياه بنسب ضئيلة ضمن توضعات بركانية مفككة .

◆ **البروفيل الخامس :**

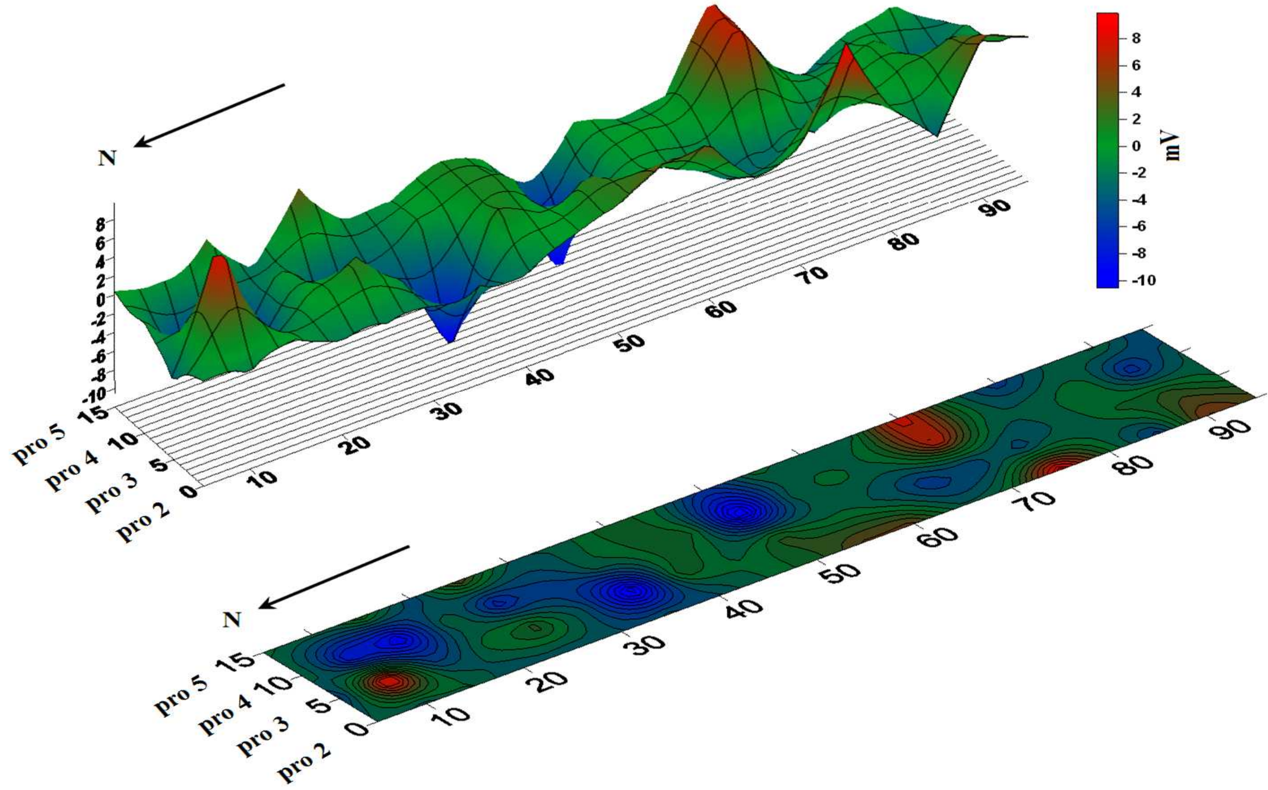
يظهر الشكل السابق تسجيلات الحقل الكموني الكلي في 18 محطة قياس على امتداد هذا البروفيل :



الشكل35: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الخامس

يلاحظ من خلال هذا الشكل وجود تغيرات واضحة لقيم الكمون الذاتي من محطة إلى آخرى تقع هذه التغيرات ضمن مجال+8 m.V إلى 4 m.V -.

للحصول على صورة متكاملة لمعطيات الكمون الذاتي خلف جسم السد تم تمثيل النتائج على شكل خارطة تساوي قيم الكمون الذاتي ومجسم ثلاثي الأبعاد على النحو الآتي:

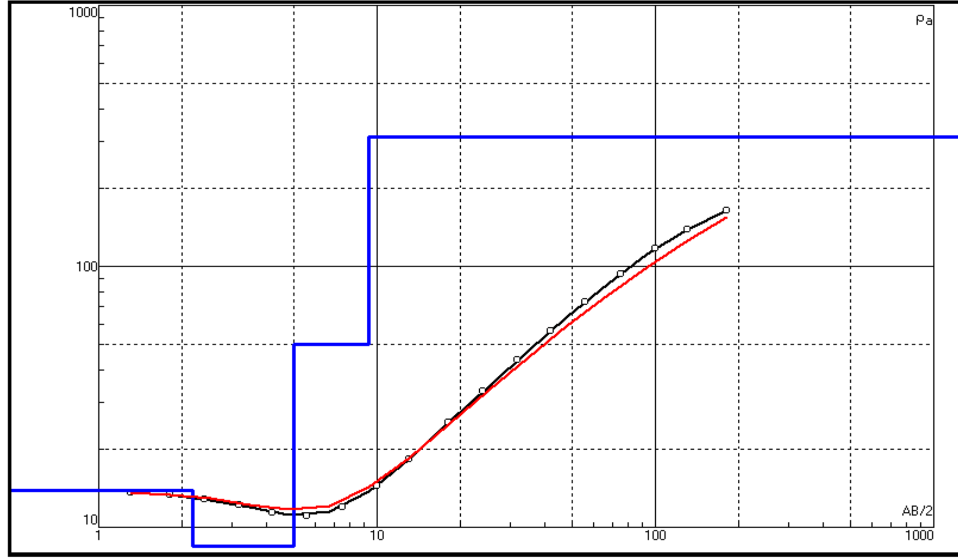


الشكل36: خارطة تساوي قيم الكمون الذاتي ومجسم ثلاثي الأبعاد في المنطقة خلف السد

إن أهم ما يلاحظ في هذا الشكل هو أن النطاقات السالبة لقيم الكمون الذاتي والتي من الممكن أن تمثل أماكن الرشح المحتملة ، تتوزع في معظم أجزاء المساحة المدروسة حسب أماكن الضعف والشقوق ضمن الصخور البركانية .

4.2.1.2. قياسات السبر الكهربائي الشاقولي

نفذت قياسات السبر الكهربائي الشاقولي (السبر الأول) على جسم السد مباشرة وتقريباً في منتصفه ، وسجلت قيم المقاومية الكهربائية باستخدام تشكيل شلمبرجير- Schlumberger رباعي المساري المتناظر و بتباعدات محددة بين مساري التيار تبدأ بالقيم AB/2=1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=180 m .



N	ρ	h	d	Alt
1	13.8	2.18	2.18	-2.176
2	6.49	2.85	5.02	-5.022
3	50.2	4.31	9.33	-9.335
4	312			

الشكل37: السبر الكهربائي الشاقولي الأول

يظهر الشكل السابق منحني طريقة السبر الشاقولي المقاس مع منحني التفسير المحسوب ، و تدل نتائج التفسير الكمي لهذا السبر على وجود أربع نطاقات هي :

النطاق الأول: مقاوميته بحدود 14 Ω.m وتبلغ سماكته 2 متر تقريباً.

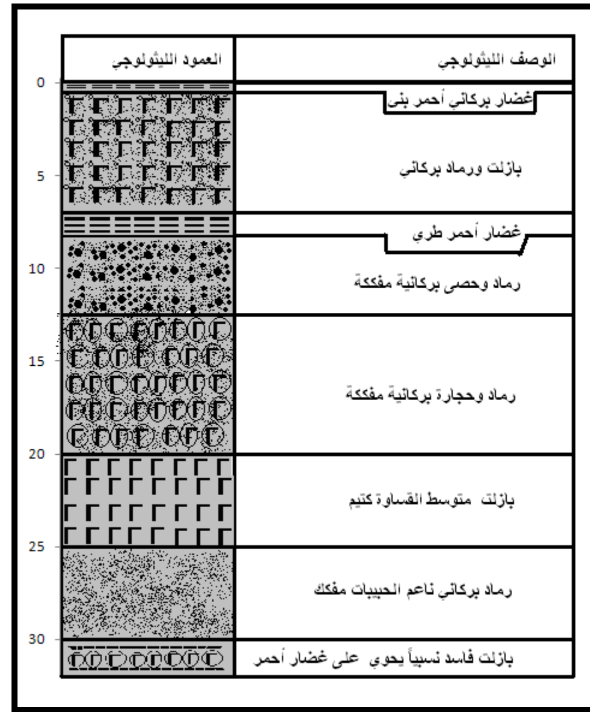
النطاق الثاني: مقاوميه بحدود 7 Ω.m وتبلغ سماكته 3 متر تقريباً.

النطاق الثالث: مقاوميته بحدود 50 Ω.m وتبلغ سماكته 4.30 متر تقريباً.

النطاق الرابع: مقاوميه بحدود 300 Ω.m و سماكته غير محددة.

يعود سبب المقاومية الكهربائية المنخفضة في كل من النطاق الأول والثاني والثالث إلى توضعات جسم السد المكونة من الغضار الحاوي على نسب متباينة من المياه الراشحة من البحيرة ، أما الاختلاف في مقاومية هذه النطاقات فيعود سببه إلى اختلاف درجة الإشباع وتباين الخواص البتروفيزيائية .

أما النطاق الرابع الذي يبدي مقاومية كهربائية عالية فهو يعبر عن الوسط البازلتي الواقع تحت جسم السد والمؤلف من رمال بركانية مع حصى وحجارة مفككة من البازلت كما تشير معطيات السبور الميكانيكية $B_1.B_2.B_3.B_5.B_6$ ، [3] المحفورة تحت جسم السد.



الشكل38 :السبر الميكانيكي B_2 [3]

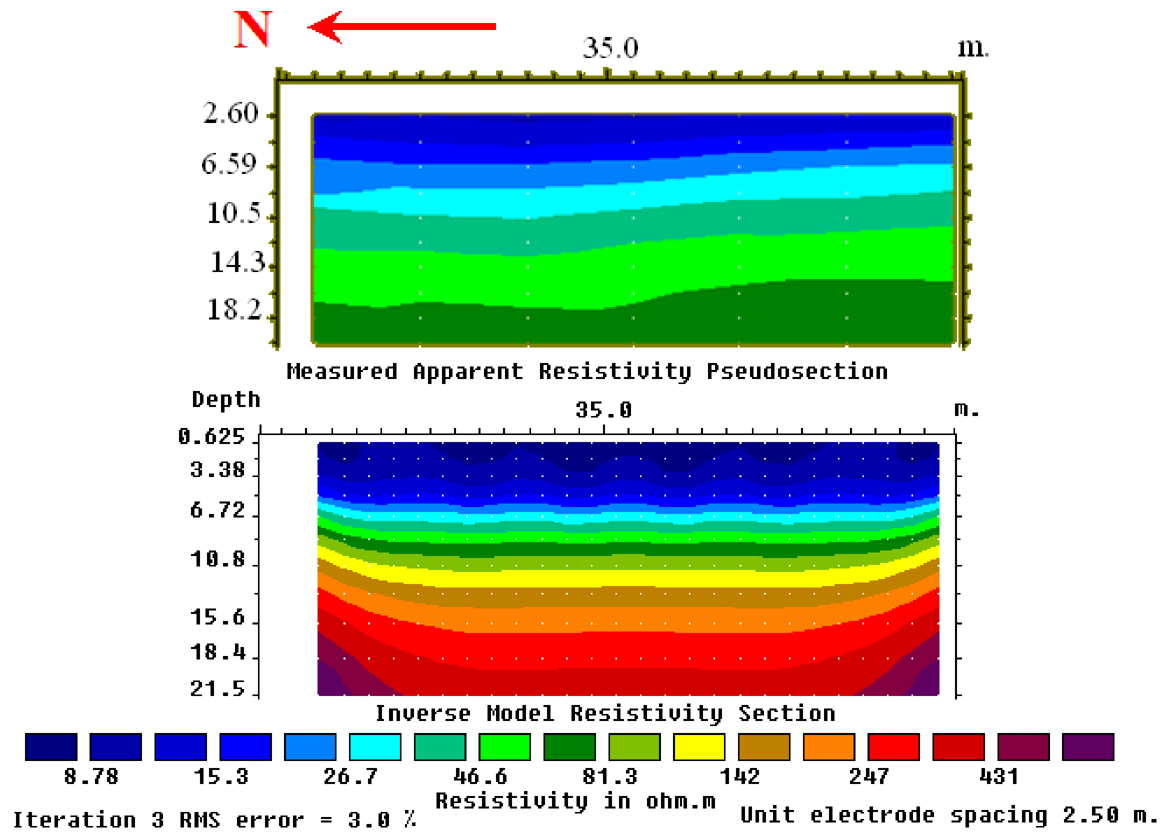
4.2.1.3. قياسات المسح الكهربائي الأفقي- الشاقولي

نفذ على جسم السد ثلاثة بروفيلات للمسح الكهربائي الأفقي–الشاقولي واستخدم لذلك تشكيل القياس المعروف Wenner –Schlumberger وهي على التوالي : البروفيل الأول ، البروفيل الثاني ، البروفيل الثالث.

- **البروفيل الأول :**

تم تنفيذ هذا البروفيل على الطرف الجنوبي لجسم السد بطول 60 متر ، ويأخذ اتجاه جنوب– شمال، ويتألف من 7 محطات قياس تبعد عن بعضها البعض مسافة ثابتة 10 متر.

يظهر الشكل الآتي المقطع العمقي (X,Z) لقياسات المقاومية الكهربائية الظاهرية في الجزء الأعلى مع المقطع العمقي (X,Z) للمقاومية الكهربائية الحقيقية في الجزء الأسفل (موديل التفسير) .



الشكل 39: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي - الشاقولي الأول

يلاحظ من خلال هذا الشكل أن قيم المقاومية الكهربائية بشكل عام تزداد تدريجياً من الأعلى إلى الأسفل، فالمواد الغضارية التي تكون جسم السد تبدي بمجملها مقاومية كهربائية منخفضة تتراوح بين Ω.m 30 - 8، بينما ترتفع تدريجياً مع العمق لتصل في الجزء الأخير من المقطع إلى قيم عالية نسبياً تزيد عن 450 Ω.m، ويعود سبب هذا الارتفاع في قيم المقاومية إلى ارتفاع نسبة الرمال البركانية والكتل البازلتية في التوضعات تحت جسم السد .

يلاحظ أيضاً أن تغيرات المقاومية الكهربائية ضمن جسم السد هي تغيرات طفيفه نسبياً تعود إلى تباين طفيف في الخواص البتروفيزيائية واختلاف درجة الرطوبة ضمن هذا الوسط .

إن قيم المقاومية الكهربائية الناتجة عن توضعات جسم السد تشير إلى عدم وجود شاذات تذكر وبالتالي عدم وجود مشاكل أو نطاقات راشحة ضمن جسم السد ، وهذا يشبه إلى حد كبير حالة السدود الركامية النموذجية التي ذكرت في [29] .

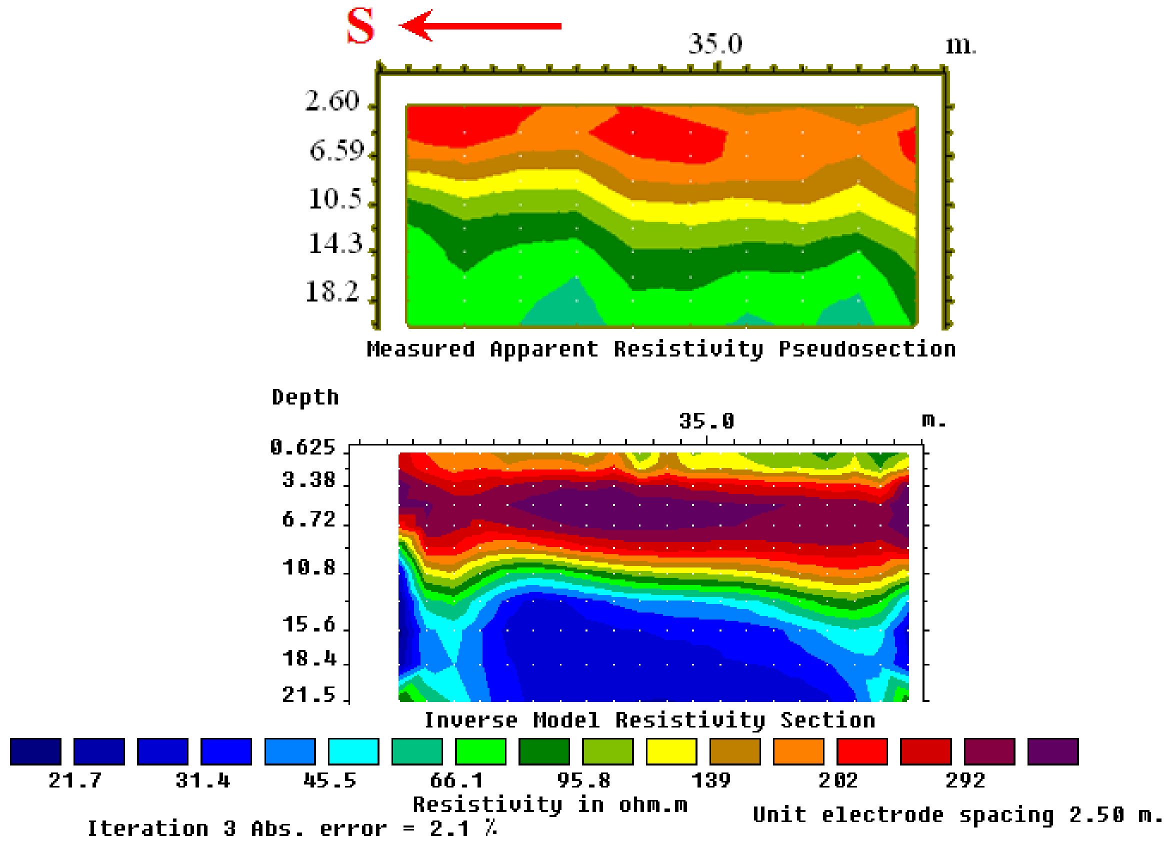
◆ **البروفيل الثاني**

نفذ هذا البروفيل بجانب الوجه الخلفي لجسم السد شمال قناة المفرغ ، ويبعد عن جسم السد بحدود 10 متر ، يأخذ اتجاه جنوب– شمال ، يبلغ طوله 45 متر ، تبعد محطات القياس عن بعضها البعض مسافة 5 متر.

يلاحظ من خلال هذا البروفيل أن الصورة هنا تختلف عن الحالة السابقة التي أظهرها البروفيل الأول بسبب وقوع هذا البروفيل خارج جسم السد .

بشكل عام نميز مع العمق وجود نطاقين مختلفين ، نطاق ذو مقاوميه كهربائية عالية نسبياً تصل إلى حدود m. 350Ω يشير إلى وجود توضعات من الرمال البركانية والحصى البازلتية المفككة المتوضعة في سرير الوادي .

أما النطاق الثاني فهو نطاق مؤلف من مواد غضارية على الأغلب مع توزع عشوائي لكتل بازلتية مختلفة المقاييس، حيث يتميز هذا النطاق بمقاومية كهربائية منخفضة نسبياً تصل إلى حدود Ω.m 20 .

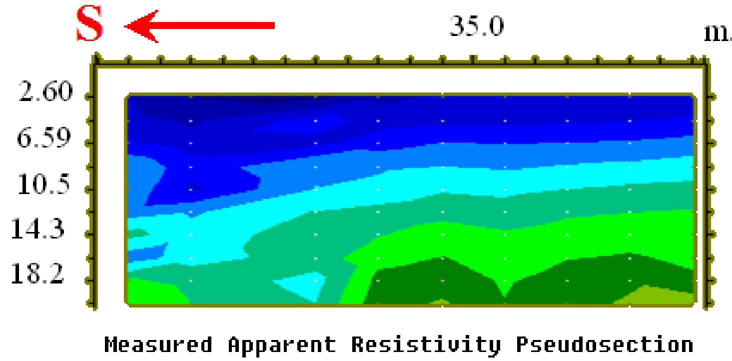


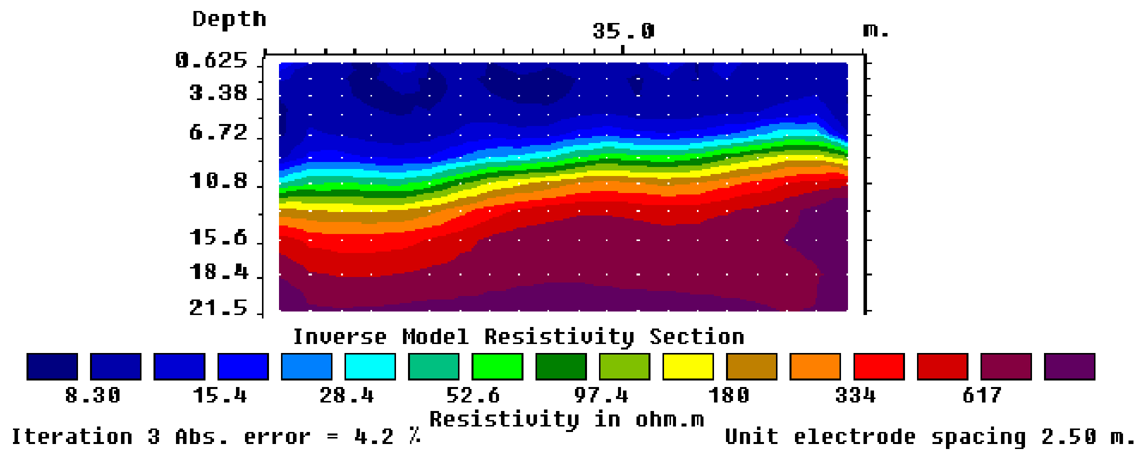
الشكل40: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي - الشاقولي الثاني

◆ **البروفيل الثالث**

تم تنفيذ هذا البروفيل على جسم السد - في الجهة الشمالية منه بطول 45 متر. ويأخذ اتجاه شمال– جنوب ، البعد بين محطات القياس 5 متر.

يبين هذا المقطع تشابه إلى حد ما مع مقطع البروفيل الأول بسبب وقوعه على جسم السد، وهنا أيضاً نميز بوضوح التوضعات الغضارية المشكلة لجسم السد كنطاق منخفض المقاومية 8 - 30 Ω.m، و الصبات البازلتية الغير متجانسة كنطاق عالي المقاومية الكهربائية تصل مقاومية في الجزء الأسفل من المقطع إلى 700 Ω.m .





الشكل41: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الثالث

يظهر هنا بوضوح أيضاً تناقص سماكة التوضعات الغضارية باتجاه نهاية البروفيل على حساب الصخور البازلتية التي تقترب على طرفي الوادي من سطح الأرض .

4.2.2. القياسات الجيوكهربائية على قاع البحيرة

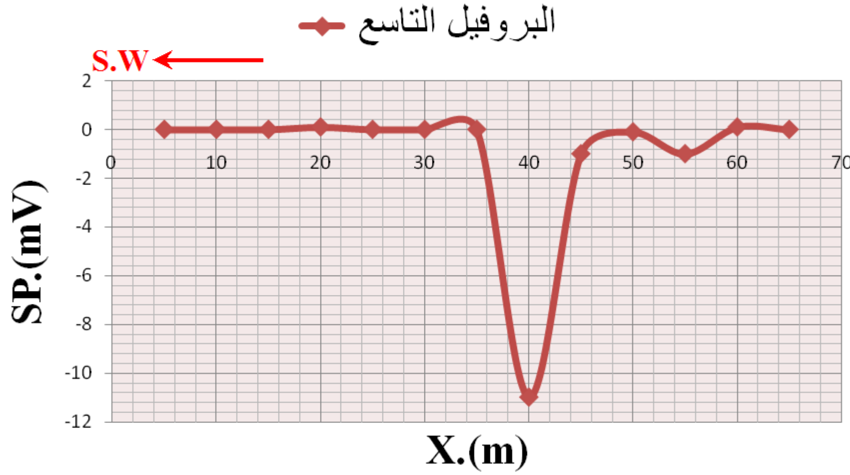
تشمل الأعمال الجيوفيزيائية في البحيرة القياسات الآتية:

4.2.2.1. قياسات الكمون الذاتي

♦ **البروفيل التاسع :**

تم تنفيذ البروفيل التاسع في وسط البحيرة وهو يبعد حوالي 200 متر عن تل مريم ويأخذ منحى جنوب غرب - شمال شرق.

استخدمت لذلك طريقة الحقل الكلي للقياس وسجلت قيم الكمون الذاتي في 13 محطة قياس.



الشكل 42: بروفيل الكمون الذاتي التاسع

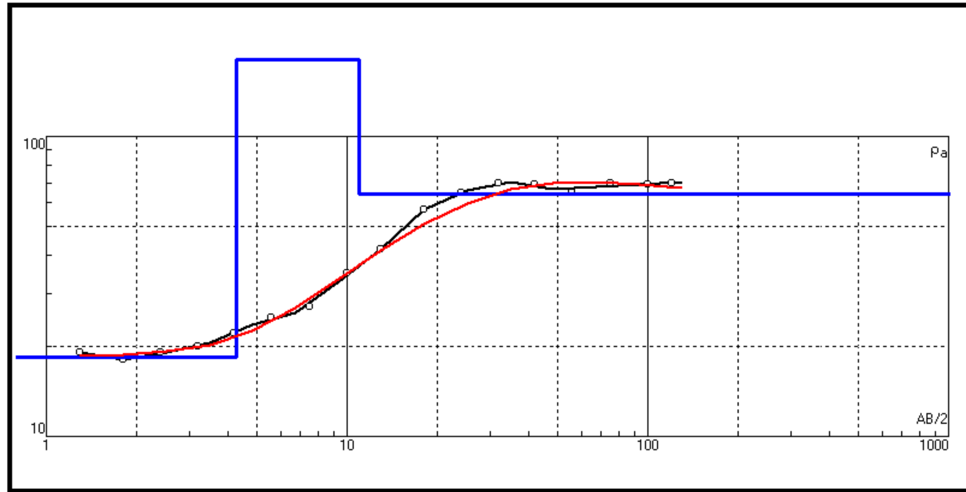
تبين قياسات هذا البروفيل وجود شاذ في محطة القياس الثامنة التي تبعد مسافة 40 متر عن بداية البروفيل ، تبلغ قيمتها 11 m.V- ، يعود سبب هذا الشاذ على الأرجح إلى تغير أو تباين رطوبة التوضعات الغضارية .

4.2.2.2. قياسات السبر الكهربائي الشاقولي

تدل المعلومات الجيولوجية المتوفرة عن منطقة الدراسة على وجود توضعات غضارية تغطي كامل مساحة البحيرة تتفاوت سماكتها من مكان لآخر .

لمعرفة سماكة التوضعات الغضارية في الجزء الشرقي من البحيرة نفذ السبر الخامس على أطراف الجزء المغمور بالمياه من البحيرة، وكان حجم التخزين المائي في السد أثناء تنفيذ هذا السبر أقل من 0.5 مليون متر مكعب.

لم تسمح الظروف المحيطة بهذا المكان بتنفيذ هذا السبر بأبعاد كبيرة تزيد عن المسافة AB/2=120 m .



N	ρ	h	d	Alt
1	18.4	4.29	4.29	-4.29
2	180	6.67	11	-10.96
3	64			

الشكل43: السبر الكهربائي الشاقولي الخامس

يُظهر منحني السبر وجود ثلاث نطاقات في هذا المكان ، النطاق الأولى كما هو متوقع منخفضة المقاومية الكهربائية 20 Ω.m وسماكته بحدود 4 متر تقريبا ، تتكون بشكل رئيسي من التوضعات الغضارية التي تتضمن نسب متفاوتة من الرطوبة، يليها نطاق ثاني ذو مقاومية كهربائية أعلى تصل إلى حوالي 180 Ω.m وسماكته بحدود 7 متر تقريباً وهو يمثل وسط غضاري يتضمن خليط من الرمال والكتل البازلتية التي تقل نسبتها مع العمق لتميز نطاق ثالث ذو مقاومية كهربائية لا تزيد عن 64 Ω.m .

تتفق هذه المعطيات إلى حد كبير مع معطيات السبور الميكانيكية المنفذة في البحيرة وخاصة مع معطيات السبر B_{11} المحفور وسط البحيرة والتي تشير إلى وجود سماكة تبلغ 15 متر من التوضعات الغضارية الكتيمة .

4.2.2.3. قياسات المسح الكهربائي الأفقي

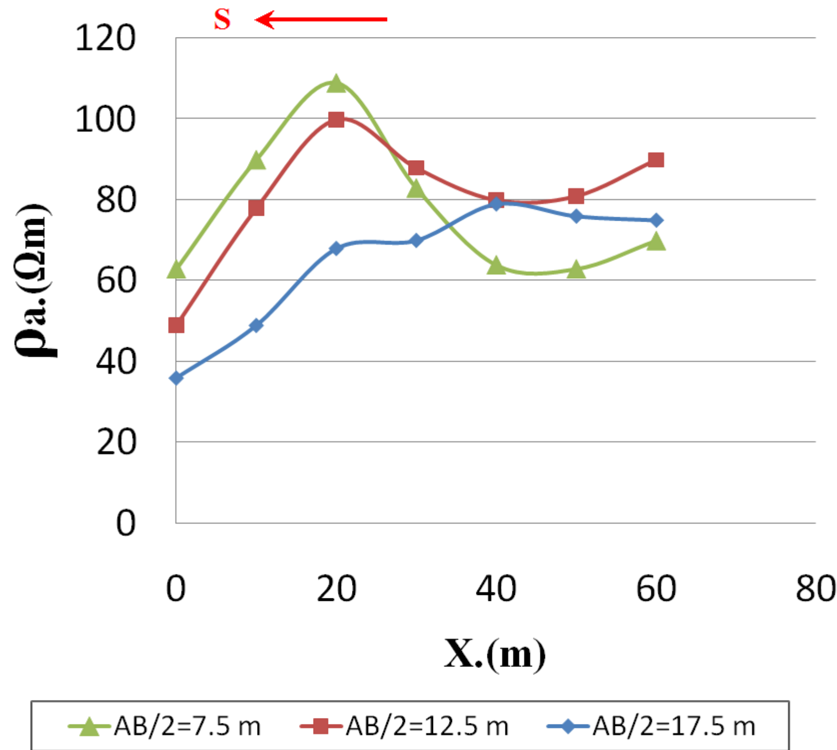
لمعرفة درجة التغيرات الجانبية للمقاومية الكهربائية ضمن التوضعات الغضارية في بحيرة التخزين نفذت قياسات المسح الكهربائي الأفقي من أجل ثلاثة سويات عمقية في ثلاث مواقع متفرقة .

التشكيل المستخدم هو تشكيل شلمبرجير Schlumberger، والسويات العمقية تتوافق مع الأبعاد : AB/2 = 7.5 m ، AB/2 = 12.5 m ، AB/2 = 17.5 m

- **قياسات الموقع الأول**

نفذت قياسات هذا الموقع ضمن البحيرة على بعد 10 متر من جسم السد في فترة الجفاف حيث كانت البحيرة فارغة تقريباً من المياه ، ويأخذ خط القياس اتجاه جنوب- شمال تقريبا ، ويبين الشكل (44) قياسات المسح الكهربائي الأفقي في هذا الموقع.

يلاحظ أن تغيرات المقاومية الكهربائية تتراوح ما بين 30 Ω m و 100 Ω m، وهذه القيم بمجملها تشير إلى أن الموقع المدروس في كافة مستوياته العمقية المدروسة مكون من التوضعات الغضارية بشكل رئيسي، كما يلاحظ من خلال هذا الشكل أن المقاومية الكهربائية تتناقص مع ازدياد البعد بين مساري التشكيل وبالتالي مع ازدياد العمق الاستكشافي وهذا يشير إلى ازدياد رطوبة التوضعات الغضارية مع العمق.

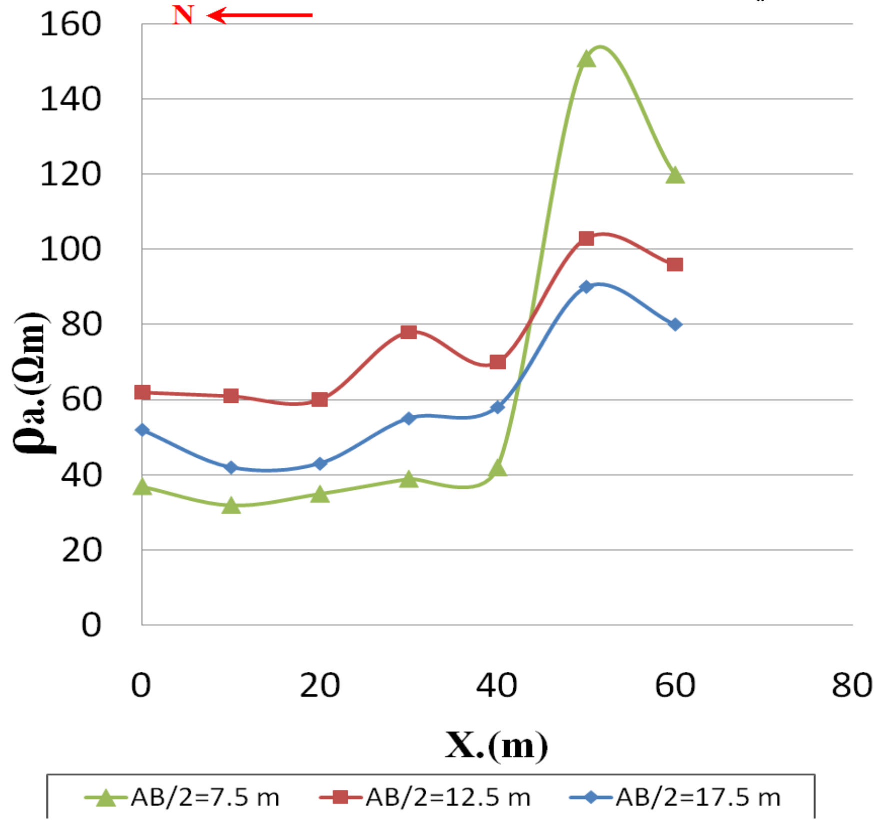


الشكل44: قياسات المسح الكهربائي الأفقي في الموقع الأول

♦ قياسات الموقع الثاني

يقع هذا الموقع في الجزء الغربي من البحيرة، وتأخذ هذه القياسات اتجاه شمال- جنوب تقريبا .

يلاحظ أن قيم المقاومية الكهربائية المسجلة في هذا الموقع تتراوح ما بين 30 Ω m و 70 Ω m باستثناء الجزء الأخير من هذا البروفيل حيث ترتفع المقاومية الظاهرية حتى 150 Ω m، وهذه القيم بمجملها تشير إلى أن هذا الموقع في كافة المستويات العمقية مكون أيضاً من التوضعات الغضارية، كما أن ارتفاع قيم المقاومية في الجزء الأخير ناتج على الأغلب عن وجود كتل بازلتية قريبة من سطح الأرض إضافة إلى احتمالية وجود تصدعات أو فوالق في هذا المكان .

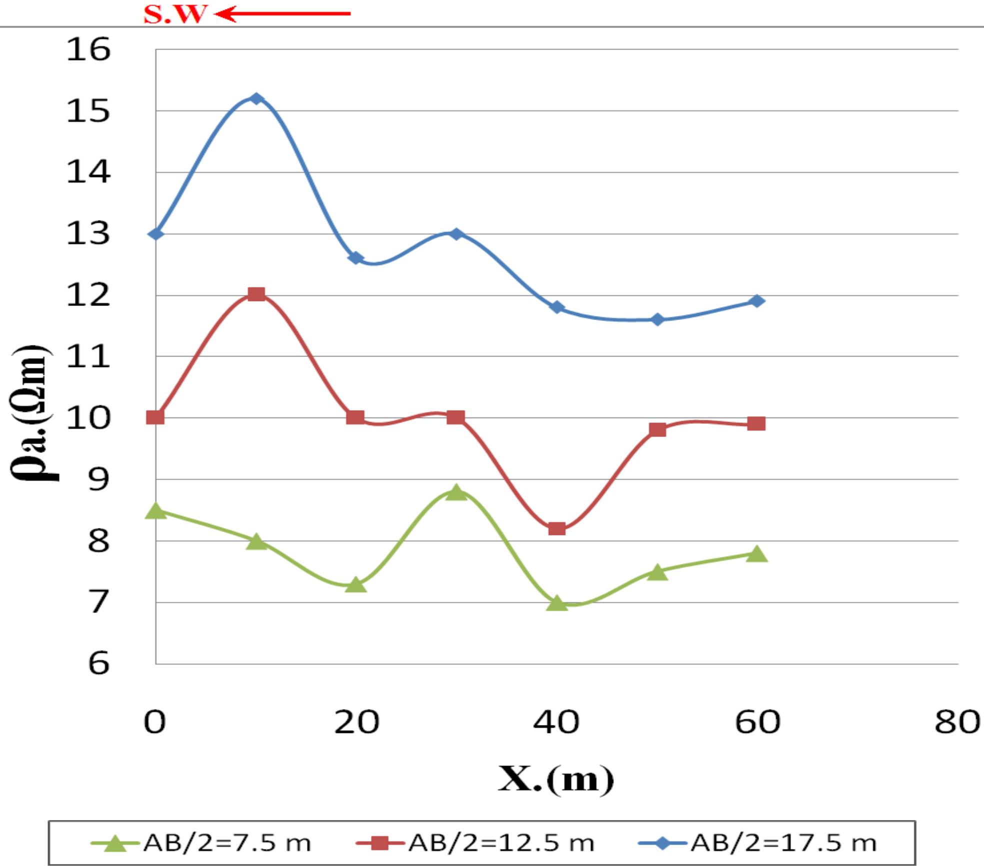


الشكل45: قياسات المسح الكهربائي الأفقي في الموقع الثاني

♦ قياسات الموقع الثالث

يقع هذا الموقع على بعد 50 متر شمال- شرق تل مريم ويأخذ منحى جنوب غرب– شمال شرق .

يلاحظ في هذا الموقع انخفاض قيم المقاومية الكهربائية المسجلة إلى مستويات متدنية تتراوح مابين 8 Ω m و 15 Ω m، وهذه القيم تشير إلى أن وجود الغضار عالي الرطوبة في كافة المستويات العمقية .



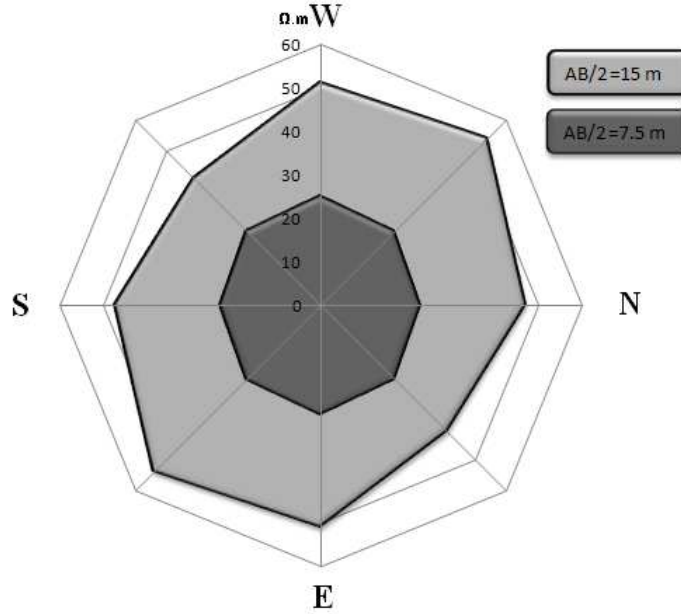
الشكل 46: قياسات المسح الكهربائي الأفقي في الموقع الثالث

4.2.2.4. قياسات المسح الكهربائي الدائري

نفذت قياسات المسح الكهربائي الدائري على أطراف البحيرة في نقطتين تقعان قبالة الكتف الغربي، واستخدام لهذا الغرض تشكيل شلمبرجير رباعي المساري ، وكانت الأبعاد بين مساري الإرسال AB/2 = 7.5 m ، AB/2 = 15 m .

- **المسح الكهربائي الدائري الثالث**

يقع هذا القياس بالقرب من منتصف الكتف الغربي للبحيرة .

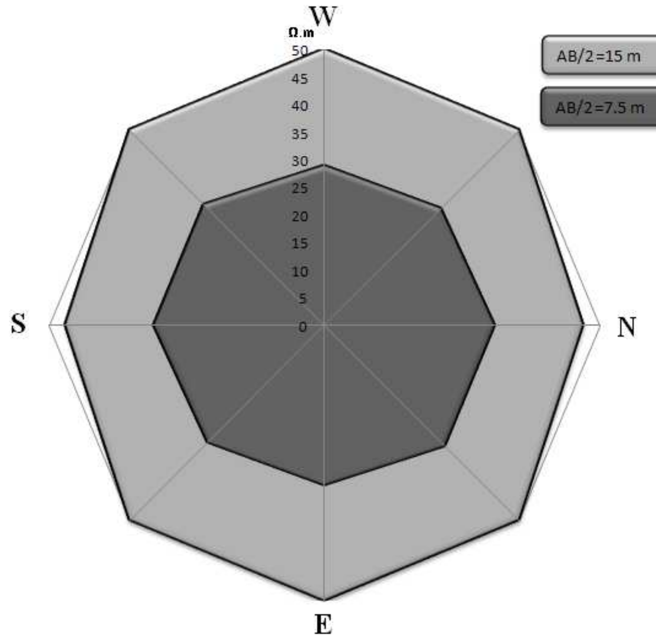


الشكل47: المسح الكهربائي الدائري الثالث

يوضح منحني الأهليلج الدائري الذي يحدد تغيرات قيم المقاومية الكهربائية في النطاق السطحي (AB/2 = 7.5 m) والمسجل وفق اتجاهات مختلفة عدم وجود تغيرات كبيرة في خواص الوسط مع تغير الاتجاه ، بينما تظهر حالة عدم التجانس بشكل واضح في النطاق العمقي الثاني (AB/2 = 15 m) حيث يتطاول الأهليلج باتجاه شمال غرب-جنوب شرق .

♦ **المسح الكهربائي الدائري الخامس**

يقع هذا القياس بالقرب من الكتف الغربي في الجزء الأخير من البحيرة .



الشكل 48: المسح الكهربائي الدائري الخامس

يبين هذا الشكل أن منحني الأهليلج الدائري للنطاق العمقي الأول يأخذ شكل قريب من الشكل الدائري وهذا يعني أن تغيرات المقاومية مع الإتجاه تغيرات محدودة جداً، والوسط الغضاري القريب من سطح الأرض هو وسط متجانس نسبياً، أما منحني الأهليلج الدائري للنطاق الثاني فهو يدل على تطاول باتجاه شرق – غرب .

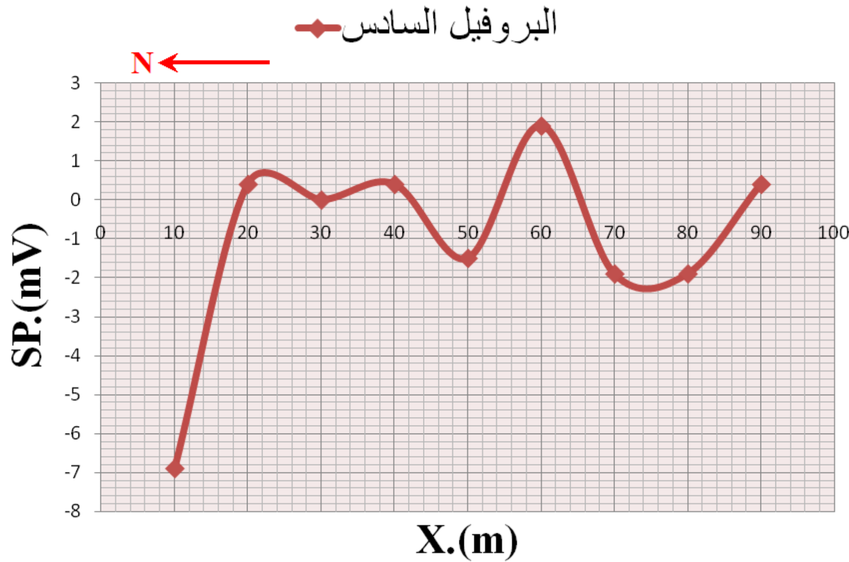
4.2.3. القياسات الجيوفيزيائية على الكتف الغربي

يعتبر السفح الغربي للبحيرة القطاع الأهم الذي يتسبب في الفاقد الأكبر من مخزون مياه بحيرة التخزين (حسب رأي الفنيين في مديرية الشؤون الفنية بوزارة الري)، لهذا تم تكثيف التحريات على هذا القطاع للحصول على معلومات تفصيلية تبين طبيعة وخصائص التوضعات الجيولوجية في هذه المنطقة، من أهم القياسات الجيوفيزيائية المنفذة على الكتف الغربي :

4.2.3.1. قياسات الكمون الذاتي

- **البروفيل السادس :**

يقع هذا البروفيل شمال جسم السد ويأخذ اتجاه شمال- جنوب ، ينطبق هذا البروفيل على البروفيل السيزمي الأول، وعلى البروفيل الكهربائي الأفقي - الشاقولي الرابع، وقد سجلت قيم الحقل الكموني الكلي في 9 محطات قياس تبعد عن بعضها البعض مسافة 10 متر.

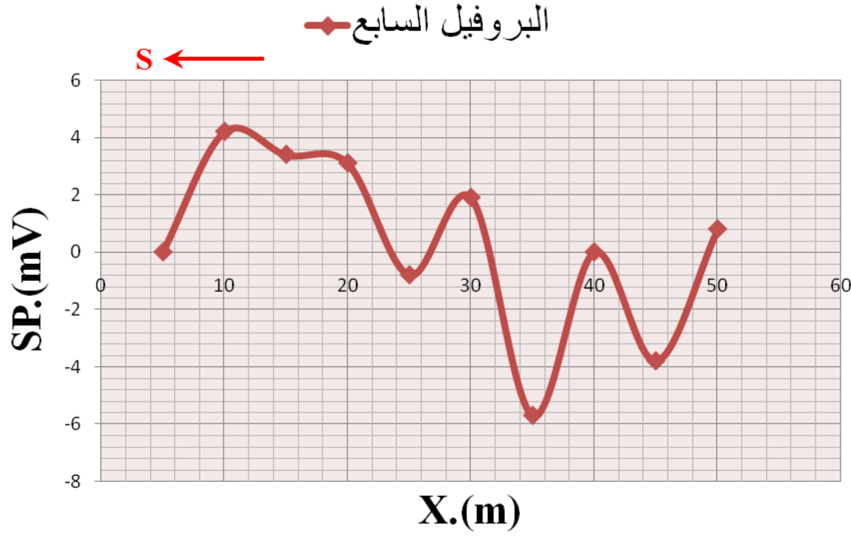


الشكل 49 :قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل السادس

يظهر هذا الشكل عدم وجود قيم للكمون الذاتي ذات دلالات هامة باستثناء القياس في المحطة الأولى، حيث وصلت قيمة الكمون الذاتي في هذه المحطة إلى m.V 7- وهذا يشير إلى وجود صخور بركانية مشققة ومفككة .

- **البروفيل السابع:**

يقع هذا البروفيل في منتصف الكتف الغربي ، بشكل مساير للمسح الكهربائي الأفقي الشاقولي الثالث عشر . تم تسجيل قيم الكمون الذاتي في 10 محطات قياس تبعد عن بعضها البعض مسافة 5 متر.

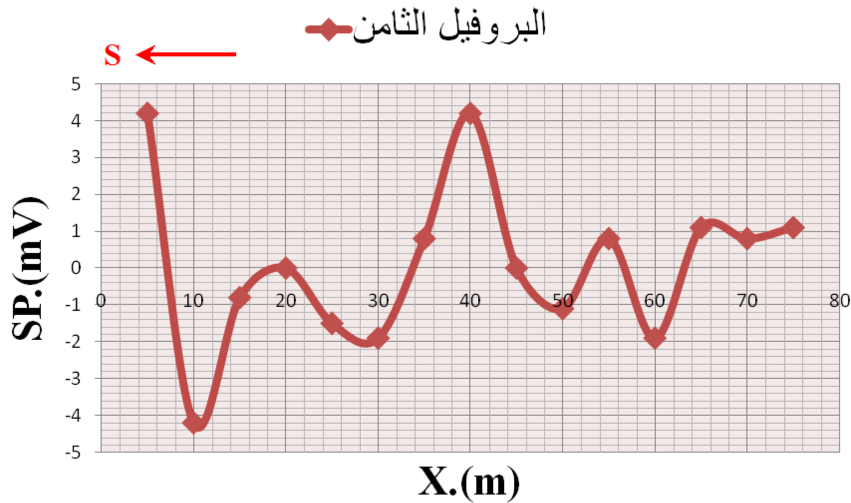


الشكل 50: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل السابع

يظهر الشكل السابق وجود شاذين أساسيين، يظهرالشاذ الأول بمطال موجب في النصف الأول من هذا البروفيل وتبلغ قيمته +4 m.V ، في حين يظهر الشاذ الثاني بمطال سالب -6 m.V هو ناتج عن نطاق تماس بين التوضعات الغضارية والصخور البركانية.

- **البروفيل الثامن:**

يقع هذا البروفيل شمال البروفيل السابع وعلى بعد 10 متر ، ويأخذ منحى جنوب-شمال كما هو الحال في البروفيل السابع، يتضمن هذا البروفيل 15 محطة قياس لقيم الحقل الكلي للكمون الذاتي، تبعد كل محطة عن الأخرى مسافة 5 متر

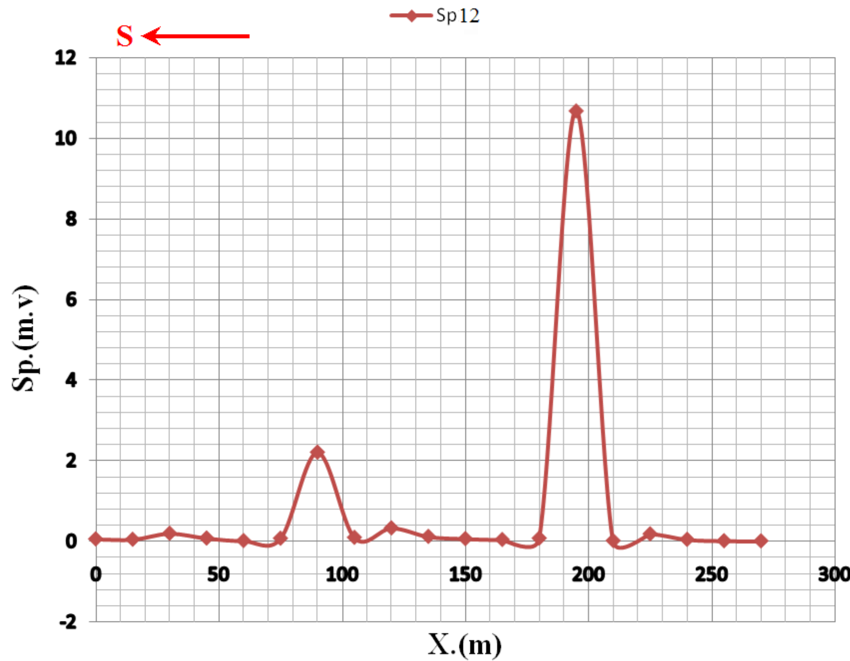


الشكل 51: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الثامن

ُيظهر هذا البروفيل وجود ثلاث شاذات لقيم الكمون الذاتي يقع اثنين منها في بداية هذا البروفيل، الأول ذو مطال موجب+4 m.V والثاني ذو مطال سالب -4 m.V ، ويمكن اعتبار هذين الشاذين ناتجين عن نطاق تماس بين التوضعات الغضارية و الصخور البركانية، في حين يظهر الشاذ الثالث الذي تبلغ قيمته +4 m.V ، في منتصف البروفيل تقريباً على بعد 40 متر من المحطة المرجع، و من المرجح أن يكون السبب الرئيسي لهذا الشاذ هو التوضعات الغضارية.

- **البروفيل الثاني عشر**

تم تنفيذ هذا البروفيل بقصد المقارنة وهو يقع خارج نطاق السد قبالة الكتف الغربي بالقرب من مكان ُحدد بالمشاهدة الحقلية على شكل نبع تخرج منه المياه عندما يكون منسوب المياه في البحيرة مرتفع نسبياً (يُعرف هذا المكان من قبل العامة هناك باسم "المطخ") .



الشكل52: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الثاني عشر

نفذ هذا البروفيل في فترة كان المخزون المائي في السد بحدود 2.5 مليون متر مكعب تقريباً، يأخذ هذا البروفيل منحى جنوب – شمال ويتألف من 19 محطة قياس لقيم الكمون الذاتي التدرجي، يبلغ البعد فيما بين المحطات 15 متر.

يظهر في الشكل شاذين أساسيين ، الأول على بعد 90 متر من بداية البروفيل وقيمته + 2m.V والثاني على بعد 190 متر من بداية البروفيل وقيمته + 11 m.V ، وُيرجح أن تكون هذه الشاذ ناتجة عن نطاقات التماس بين الصخور البركانية و التوضعات الغضارية.

كان من المتوقع أن تسجل قيم الكمون الذاتي في هذا المكان شاذات رشحية لكن لم يلاحظ هنا أي شاذات هامة ناتجة عن رشح المياه ضمن التوضعات الجيولوجية .

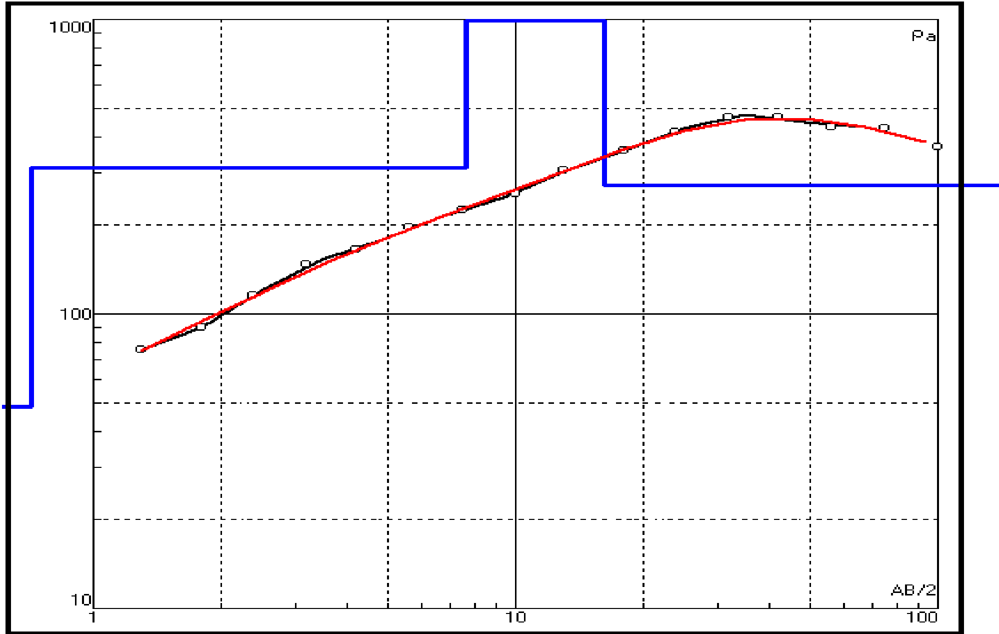
4.2.3.2. قياسات السبر الكهربائي الشاقولي

تم تنفيذ ثلاث سبور شاقولية ضمن قطاع الكتف الغربي تشكل على التوالي السبر الثاني والسبر الثالث والسبر الرابع ، وكان الهدف من تنفيذ هذه السبور هو تحديد مواصفات المقطع الجيوكهربائي في بعض أجزاء الكتف الغربي، ومعرفة سماكة التوضعات الغضارية في الأماكن التي تغطي الصخور البركانية .

- **السبر الكهربائي الثاني:**

نفذ هذا السبر بالقرب من منتصف الكتف الغربي وبتباعدات محددة لمساري التيار تبدأ بالقيم AB/2 = 1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=100m .

تشير نتائج التفسير لهذا السبر وجود أربعة نطاقات أساسية، النطاق الأول مقاوميته بحدود 48 Ω.m وسماكته أقل من 1 متر وهو يمثل نطاق من التوضعات الغضارية، ترتفع قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الثاني لتصل إلى حدود 313 Ω.m وبسماكة تقارب 7 متر دالة بذلك على وجود نطاق مكون من خليط من الصخور البركانية مع التوضعات الغضارية، بعد ذلك ترتفع قيم المقاومية الكهربائية لتصل إلى حدود 1335Ω.m ضمن النطاق الثالث الذي تصل سماكته إلى 8.5 متر تقريباً، وهذا النطاق يمثل صخور بازلتية عالية المقاومية نسبياً، بعد ذلك تنخفض قيم المقاومية الكهربائية ثانية بسبب وجود نطاق رابع تصل مقاومية إلى 274 Ω.m ، وهذا يشير إلى وجود خليط من الصخور البركانية المفككة مع التوضعات الغضارية بشكل أساسي.



N	ρ	h	d	Alt
1	48.2	0.712	0.712	-0.712
2	313	6.92	7.63	-7.631
3	1335	8.54	16.2	-16.17
4	274			

الشكل 53:السبر الكهربائي الشاقولي الثاني

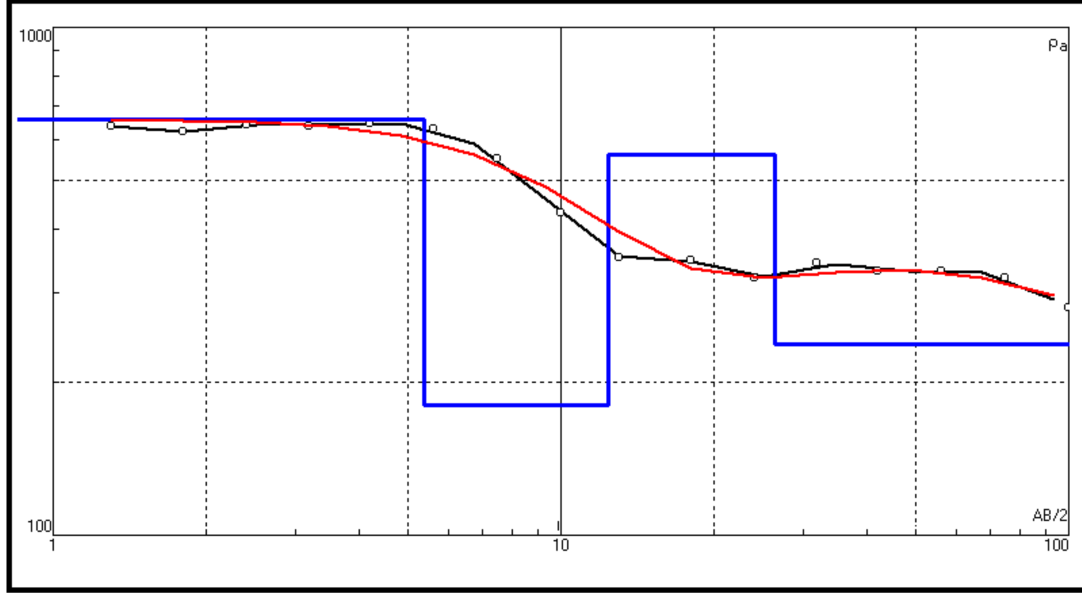
- **السبر الكهربائي الثالث:**

تم تنفيذ هذا السبر بالقرب من السبر الثاني و بتباعدات بين مساري التيار تبدأ بالقيم AB/2=1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=100 m .

يبين التفسير الكمي لهذا السبر اختلافاً واضحاً في المقطع الجيوكهربائي عن السبر الثاني رغم قرب المسافة بينهما ، وهذا أمر طبيعي كثير ما يصادف في المناطق البازلتية.

على العموم تدل معطيات هذا السبر على وجود أربع نطاقات أساسية، تبدأ قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الأول بقيم مرتفعة نسبياً تصل إلى حوالي 650 Ω.m وتبلغ سماكته 5 متر، وهو يعتبر نطاق بازلتي مكون بشكل أساسي من الكتل البازلتية إضافة إلى وجود محدود للتوضعات الغضارية، تنخفض بعد ذلك قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الثاني حتى 180 Ω.m ضمن سماكة تبلغ 7 متر تقريباً، ويعود سبب انخفاض المقاومية في هذا النطاق على الأغلب إلى ازدياد نسبة التوضعات الغضارية مقارنة بالنطاقين الأول والثالث، أما في النطاق الثالث فتعاود قيم المقاومية الكهربائية الارتفاع لتصل إلى قيم تزيد عن 550 Ω.m وبسماكة تزيد عن 14 متر، دالة بذلك على

تكرار توضعات النطاق الأول عند هذا العمق، بعدها تنخفض قيم المقاومية الكهربائية ثانيةً في النطاق الرابع إلى حدود 240 Ω.m .

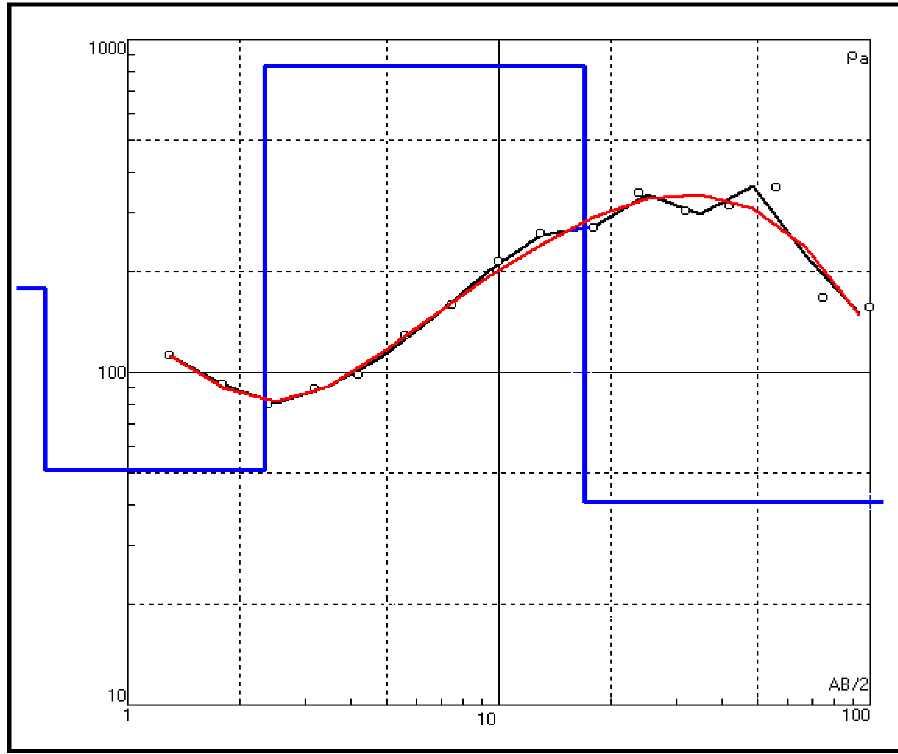


N	ρ	h	d	Alt
1	659	5.37	5.37	-5.371
2	180	7	12.4	-12.37
3	560	14	26.4	-26.37
4	237			

الشكل54: السبر الكهربائي الشاقولي الثالث

- **السبر الكهربائي الرابع:**

نفذ هذا السبر على مقربة من السبر الثالث وبنفس الأبعاد التي ذكرت في السبر الثالث. يُظهر هنا أيضاً وجود أربع نطاقات أساسية، تكون قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الأول بحدود 180 Ω.m وسماكته بحدود 0.6 متر، وهو يمثل خليط من التوضعات الغضارية و الصخور البركانية المفككة، تنخفض بعد ذلك قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الثاني لتصل إلى حدود 50 Ω.m ضمن سماكة تبلغ 2 متر تقريباً، والمرجح هنا أن تكون هذه التوضعات في هذا النطاق مكونة بشكل عام من التوضعات الغضارية، ثم ترتفع المقاومية لتصل إلى قيم عالية نسبياً تزيد عن 800Ω.m ضمن النطاق الثالث الذي تزيد سماكته عن 14 متر وهذا النطاق مكون من توضعات بازلتية على شكل بازلت فراغي ومشقق، بعد ذلك تظهر التوضعات الغضارية مرة ثانية مشكلة النطاق الرابع حيث تنخفض قيم المقاومية الكهربائية إلى حدود 40 Ω.m.



N	ρ	h	d	Alt
1	179	0.596	0.596	-0.5964
2	50.8	1.75	2.35	-2.347
3	831	14.7	17	-17.04
4	40.6			

الشكل 55: السبر الكهربائي الشاقولي الرابع

من خلال ما سبق يمكن القول أن قيم المقاومية الكهربائية الناتجة عن السبور الكهربائية الشاقولية المنفذة على الكتف الغربي لم تصل إلى حدود 1000 Ω.m والذي يعد الحد الأدنى لقيم المقاومية الكهربائية الناتجة عن الصخور البازلتية الصرفة [26.27]، وهذا يدل على أن الصخور البركانية في هذا الموقع تتضمن مواد غضارية بنسب متباينة.

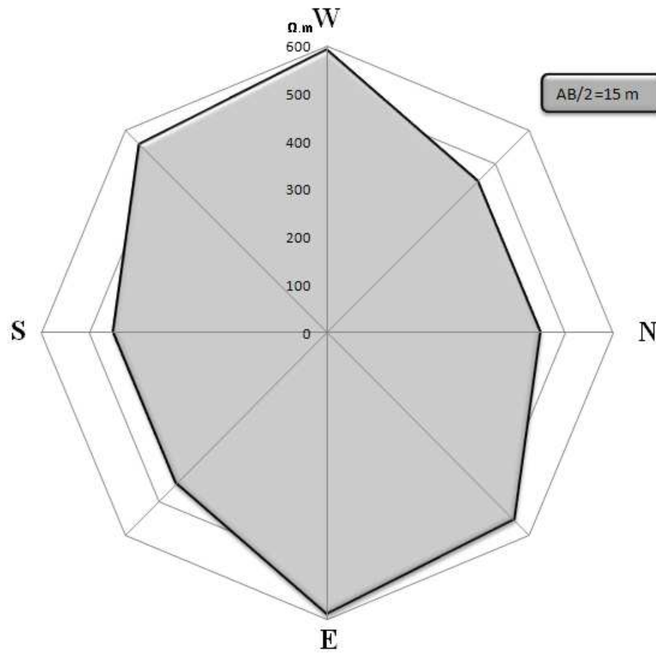
4.2.3.3. قياسات المسح الكهربائي الدائري

نفذت أربعة قياسات دائرية ضمن قطاع الكتف الغربي وهي على التوالي المسح الكهربائي الدائري الأول والثاني والرابع والسادس، وقد كان الهدف من إجراء هذه القياسات هو معرفة درجة عدم التجانس ضمن النطاق القريب من السطح .

استخدم لهذه القياسات تشكيل شلمبرجير- Schlumberger المتناظر من أجل البعد بين المساري AB/2=15 m.

- **المسح الكهربائي الدائري الأول**

يقع هذا القياس شمال جسم السد تقريباً ، ويبين الشكل (56) شكل الاهليلج الدائري لهذا القياس .

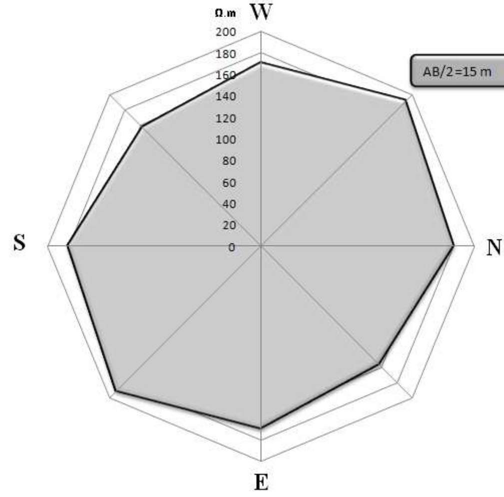


الشكل56 : المسح الكهربائي الدائري الأول

يلاحظ من هذا الشكل أن منحني الإهليلج الدائري الذي يحدد تغيرات قيم المقاومية الكهربائية في النطاق السطحي وفق اتجاهات مختلفة يدل على وجود حالة عدم تجانس تتمثل بتطاول الإهليلج باتجاه المحور شرق- غرب .

♦ **المسح الكهربائي الدائري الثاني**

يقع هذا القياس في منتصف الكتف الغربي تقريباً.

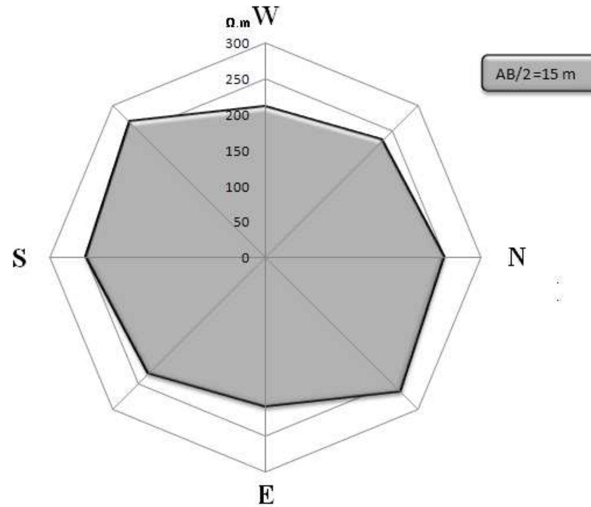


الشكل57: المسح الكهربائي الدائري الثاني

يبين منحني الإهليلج الدائري أن قيم المقاومية الكهربائية متدنية نسبياً وقريبة من بعضها البعض وهذا يدل على طبيعة التوضعات الغضارية والتغيرات الطفيفة للمقاومية الكهربائية مع الاتجاه .

♦ **المسح الكهربائي الدائري الرابع**

يقع هذا القياس عند نهاية الكتف الغربي للبحيرة، يلاحظ من خلال هذا الشكل تشابه كبير مع معطيات القياس الثاني مع اختلاف في اتجاه تطاول الإهليلج الدائري باتجاه المحور شمال شرق - جنوب غرب.

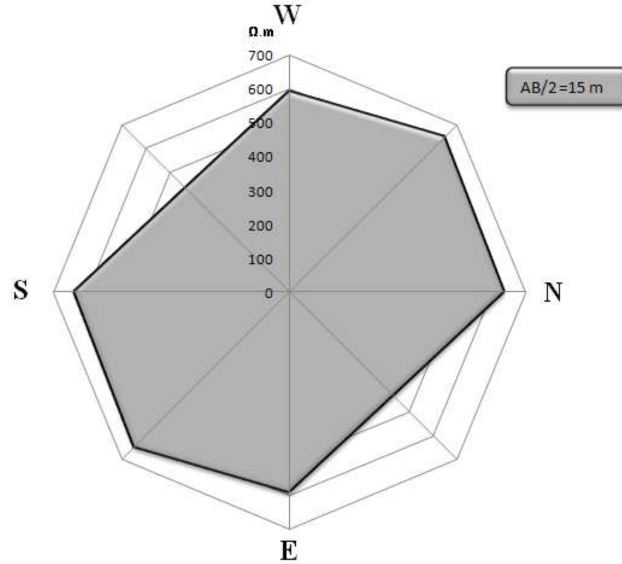


الشكل58: المسح الكهربائي الدائري الرابع

- **المسح الكهربائي الدائري السادس**

يقع هذا القياس عند نهاية البحيرة ، وتظهر النتائج في هذا المكان وجود مؤشر واضح لحالة عدم تجانس تتمثل بتطاول الإهليلج باتجاه المحور شمال غرب - جنوب شرق.

بشكل عام تظهر هذه القياسات الدائرية أن عدم التجانس واختلاف قيم المقاومية مع الاتجاه تقتصر على وجود الصخور البركانية، أما الأوساط التي يغلب عليها الطابع الغضاري فالتغيرات في المقاومية مع الاتجاه هي تغيرات طفيفة كما في القياسين الثاني والرابع .



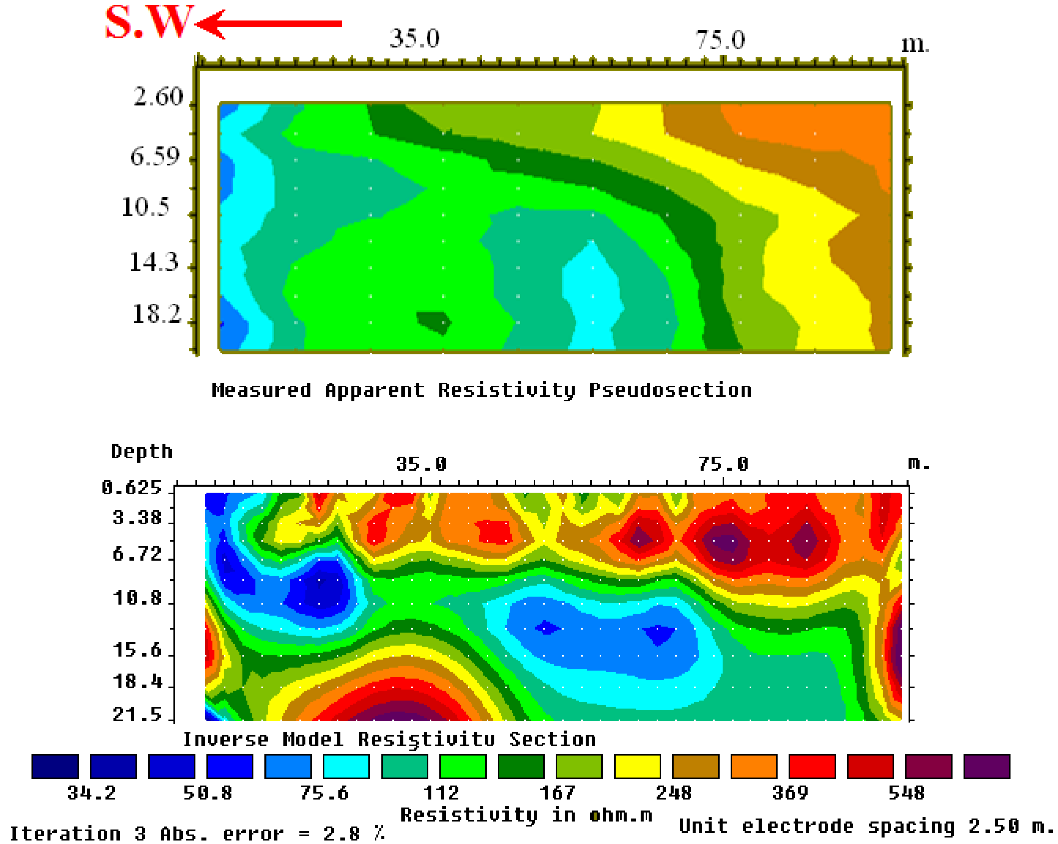
الشكل59: المسح الكهربائي الدائري السادس

4.2.3.4. قياسات المسح الكهربائي الأفقي- الشاقولي

نفذ على الكتف الغربي 13 بروفيل وفق طريقة السبر الأفقي – الشاقولي وهي تبدأ من شمال جسم السد (البروفيل الرابع) ...وتنتهي في آخر البحيرة (البروفيل السابع عشر) .

- **البروفيل الرابع :**

يقع هذا البروفيل شمال جسم السد باتجاه جنوب غرب - شمال شرق ويتكون من 10 محطات قياس البعد في ما بينها 10 متر.

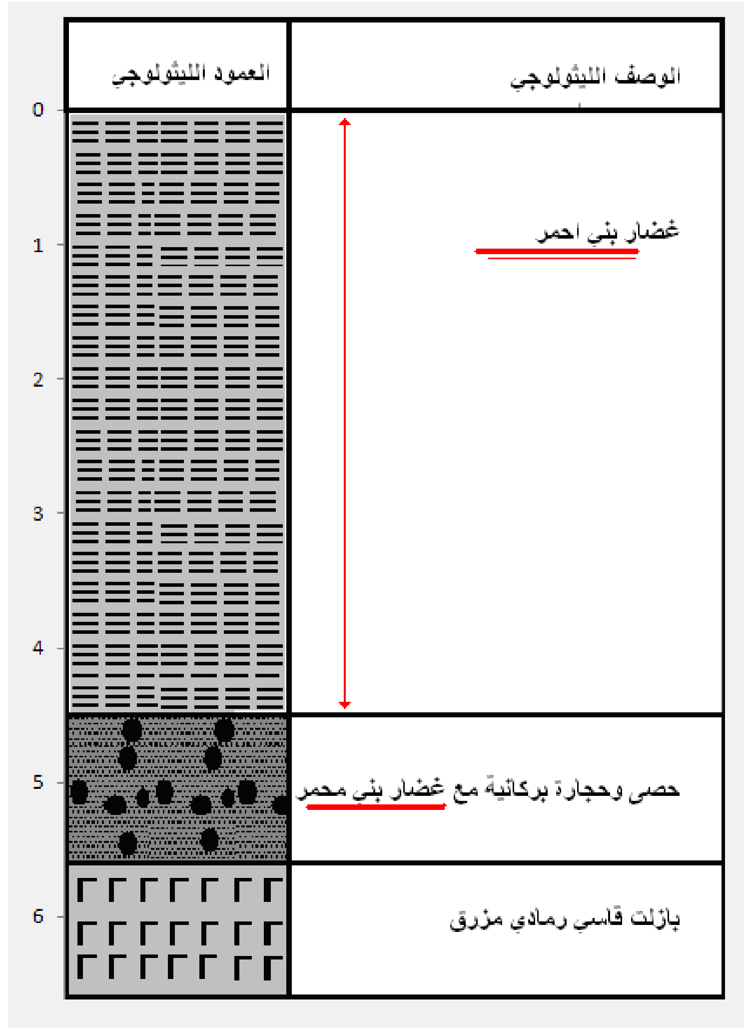


الشكل60: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الرابع

يظهر هذا البروفيل بالقرب من السطح نطاق عالي المقاومية الكهربائية نسبياً حيث تصل إلى حدود 550Ω.m ثم يتكرر أسفل هذا المقطع ، بينما يظهر في الجزء الأوسط نطاق منخفض المقاومية غير متجانس تصل المقاومية في بعض أجزاء حتى 30Ω .m

.

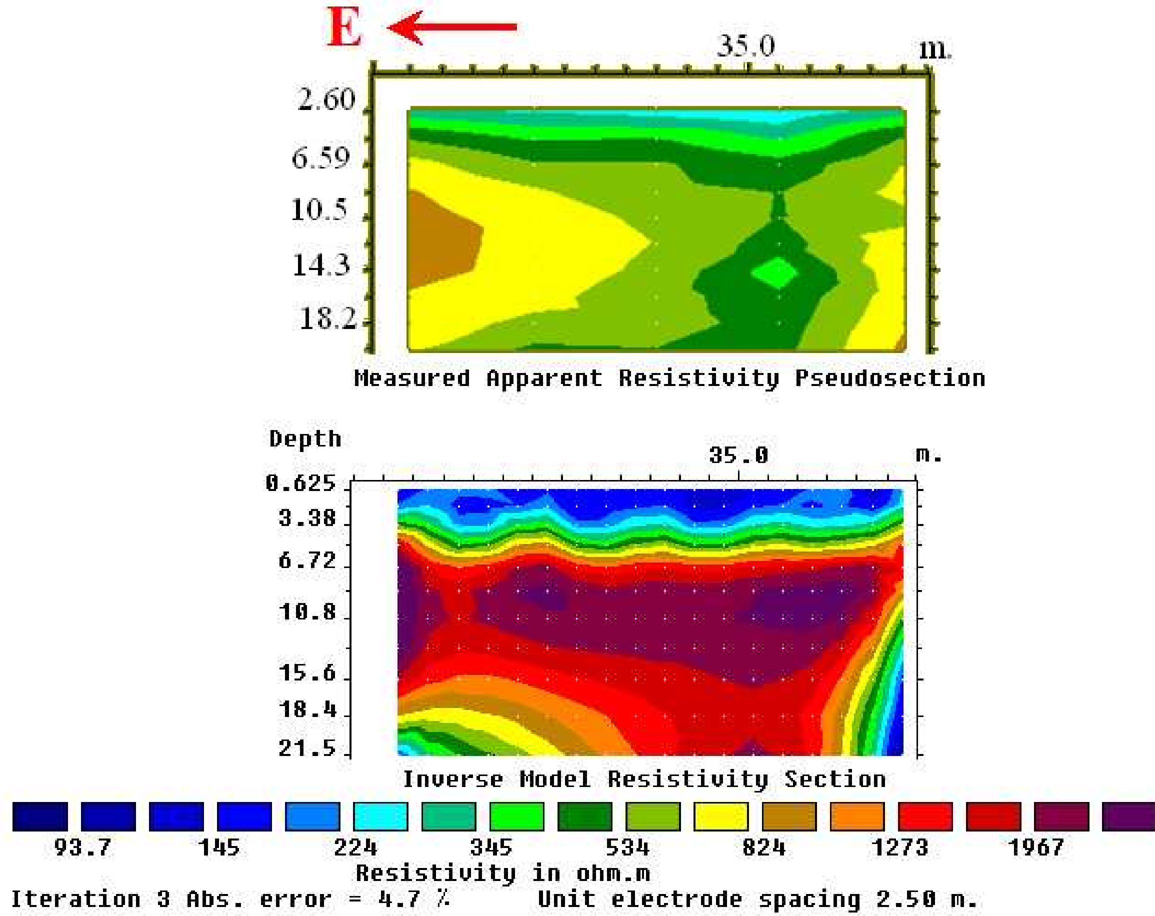
تعزى قيم المقاومية الكهربائية العالية في أعلى وأسفل المقطع إلى وجود وسط بازلتي مع نسب متباينة من الغضار، بينما تعزى قيم المقاومية الكهربائية المنخفضة في النطاق الأوسط إلى وجود وسط يتكون بمجملة من الغضار هذا ما تؤكده أيضاً معطيات السبر الميكانيكي P_1 المحفور بالقرب من بداية هذا البروفيل والتي تشير إلى وجود سماكة كبيرة نسبياً من الغضار كما في الشكل الآتي.



الشكل 61 : السبر الميكانيكي P_1، [4]

♦ البروفيل الخامس:

نفذ هذا البروفيل بالقرب من البروفيل الرابع، ويأخذ اتجاه شرق – غرب تقريباً ويتكون من 5 محطات قياس البعد فيما بينها 10 متر.



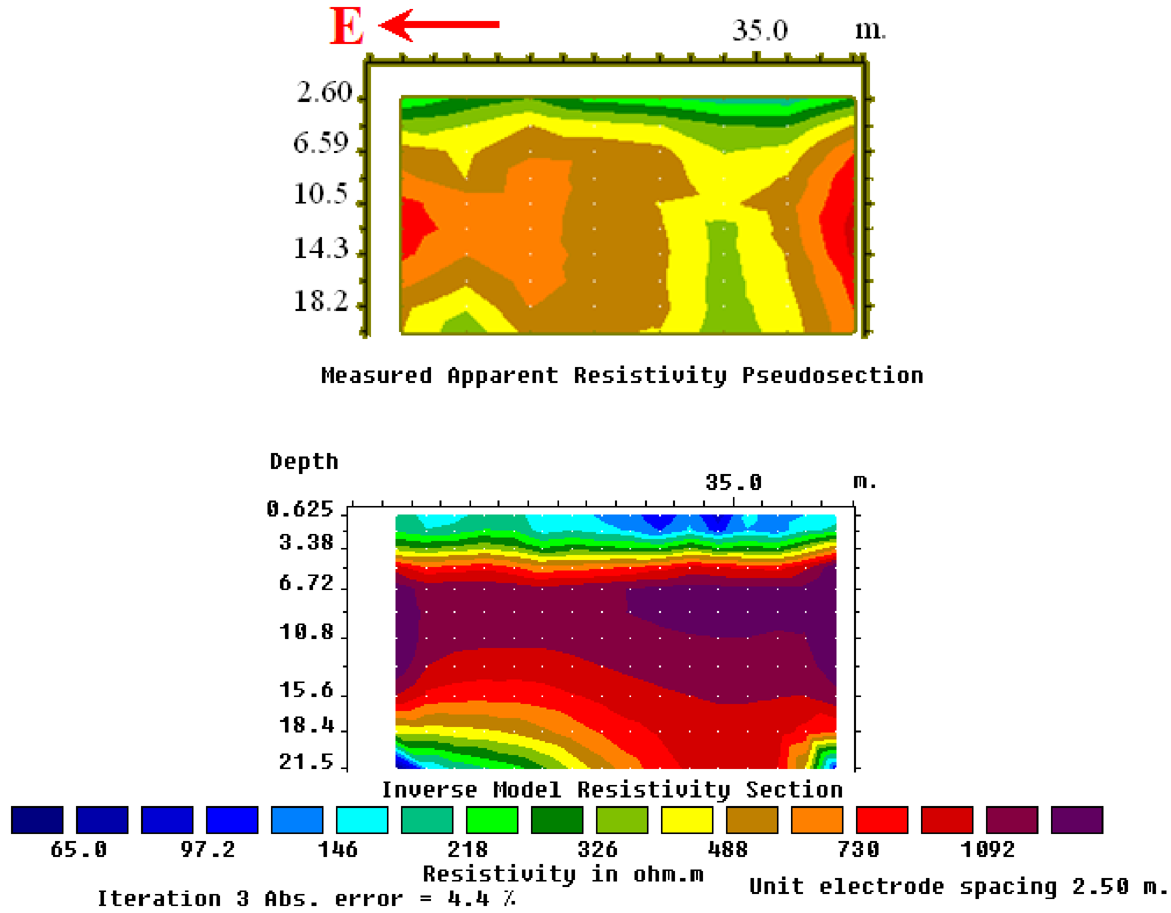
الشكل62: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الخامس

يلاحظ هنا وجود نطاق عالي المقاومية في وسط المقطع تتراوح مقاومیته ما بين 500Ω .m و 2000 Ω.m ، يدل هذا المجال الواسع للمقاومية على أن هذا النطاق هو نطاق بازلتي غير متجانس .

يلاحظ أيضاً في الجزء العلوي من هذا البروفيل وسط منخفض المقاومية نسبياً يشير إلى توضعات غضارية مع كتل بازلتية ويستبعد وجود مياه راشحة ضمن هذا الوسط لأنه يقع فوق مستوى منسوب المياه في البحيرة .

- **البروفيل السادس:**

يبلغ طول هذا البروفيل 35 متر فقط حيث يتكون من 8 محطات قياس البعد في ما بينها 5 متر، يقع هذا البروفيل شرق البروفيل الخامس و يأخذ نفس المنحى.



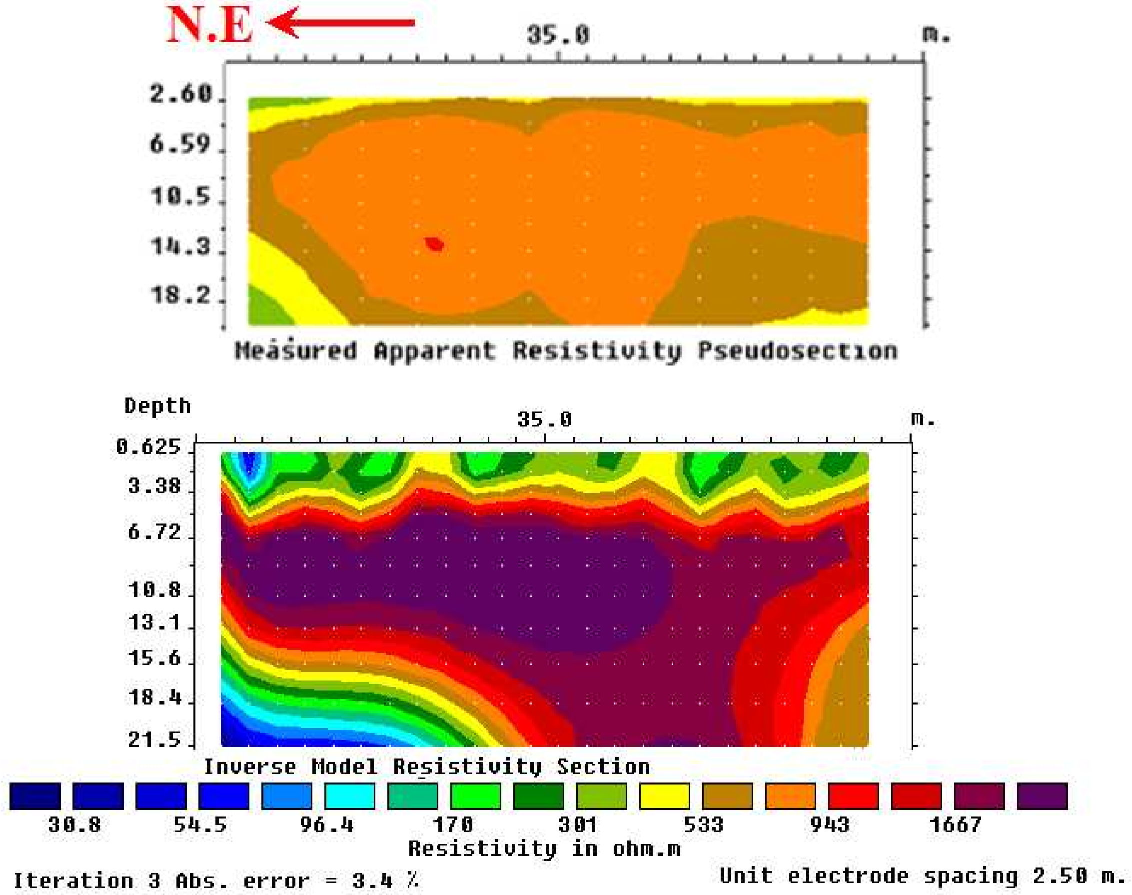
الشكل63: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي السادس

تدل نتائج هذا البروفيل على صورة مشابهة لنتائج البروفيل الخامس حيث يظهر نطاق علوي غضاري تنخفض المقاومية الكهربائية في أجزاءه العلوية إلى ما دون 60 Ω.m، وهو يشكل غطاء لنطاق آخر عالي المقاومية تتراوح ما بين 500Ω .m و 1100Ω .m، وهذا النطاق هو بشكل عام مؤلف من بازلت فراغي ومشقق ويظهر بوضوح في معظم الآبار المحفورة في الموقع .

يستبعد هنا أيضاً احتمال وجود رشح للمياه ضمن هذا النطاق بسبب القيم العالية للمقاومية الكهربائية التي تنفي احتمالية وجود مياه راشحة ضمن فراغات هذا النطاق .

- **البروفيل السابع:**

نفذ هذا البروفيل بالقرب من البئر المحفورة P_2 و بطول 55 متر ، وهو يتألف من 12 محطة قياس تبعد فيما بينها مسافة 5 متر ويأخذ اتجاه شمال شرق–جنوب غرب .



الشكل64 : نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي السابع

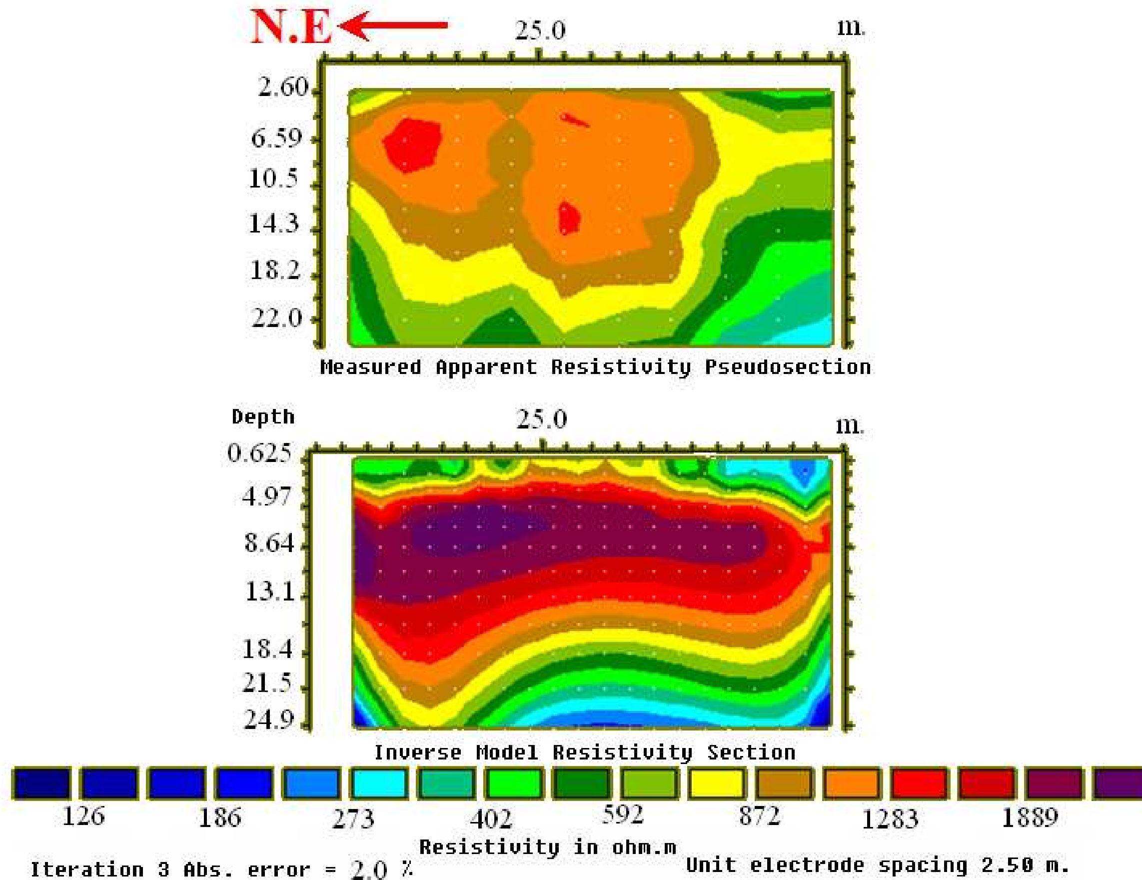
نلاحظ من خلال هذا البروفيل تشابه كبير في التوضعات الجيولوجية مع تلك التي ظهرت في البروفيلات السابقة رغم اختلاف اتجاه القياس ، فالنطاق العلوي الغضاري منخفض المقاومية يظهر هنا بوضوح على امتداد كامل البروفيل بسماكة عدة أمتار (3-1) متر، وهو نطاق مؤلف بشكل رئيسي من الغضار مع حصى ورمال بركانية أحيانا ويغطي نطاق بازلتي عالي المقاومية (500Ω .m و 1500 Ω.m) ، ممثلاً بتوضعات صخرية بازلتية كتيمة في بعض المستويات ومشققة أو فراغية في مستويات أخرى.

يعزى اتساع مجال قيم المقاومية الكهربائية لهذا النطاق إلى اختلاف خواص هذا النطاق من مستوى عمقي لآخر إضافة إلى جود فجوات بمقايس مختلفة، وهذا مؤكد من خلال الوصف الجيولوجي للعينات المأخوذة من البئر P_2 لاحظ الشكل (75) .

- **البروفيل الثامن:**

نفذ هذا البروفيل شمال البئر P_2 ، ويأخذ اتجاه شمال شرق – جنوب غرب ، يبلغ طول هذا البروفيل 45 متر ويتكون من 10 محطات قياس البعد في ما بينها 5 متر.

يُظهر هذا البروفيل وجود نطاق بازلتي عالي المقاومية تصل قيم المقاومية الكهربائية في بعض أجزاء هذا النطاق إلى m. 2000Ω يبدأ من عمق 4 متر ويستمر حتى عمق 15 متر تقريباً، يجاور هذا النطاق البازلتي في الأعلى وفي الأسفل نطاق منخفض المقاومية نسبياً وهو يقابل من الناحية الجيولوجية وسط غضاري يحتوي في بعض أجزاءه على رمال وحصى بركانية.



الشكل65: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الثامن

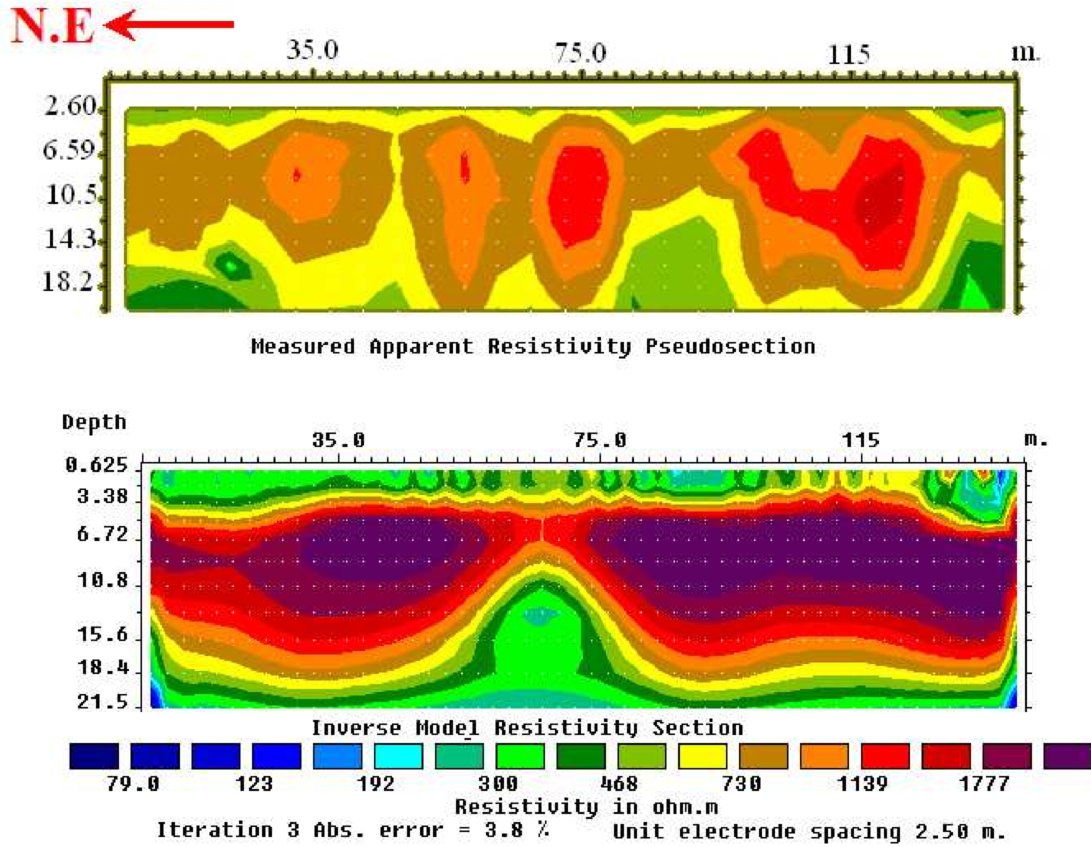
أن وجود هذا الخليط من التوضعات الغضارية و الصخور البركانية يفسر تباين قيم المقاومية الكهربائية ما بين m. 100Ω و Ω.m 500 .

◆ **البروفيل التاسع:**

نفذ هذا السبر جنوب البئر P_3 باتجاه شمال شرق – جنوب غرب، يبلغ طول البروفيل 130 متر ويتضمن 27 محطة قياس تبعد عن بعضها البعض مسافة 5 متر.

يمكن اعتبار هذا البروفيل امتداد للبروفيل الثامن حيث تظهر نفس التوضعات الجيولوجية في هذا المقطع، كما يلاحظ أيضاً ازدياد نسبة الحصى والرمال البركانية في المستوين العلوي والسفلي مما يسبب ارتفاع ملحوظ لقيم المقاومية الكهربائية، أما في

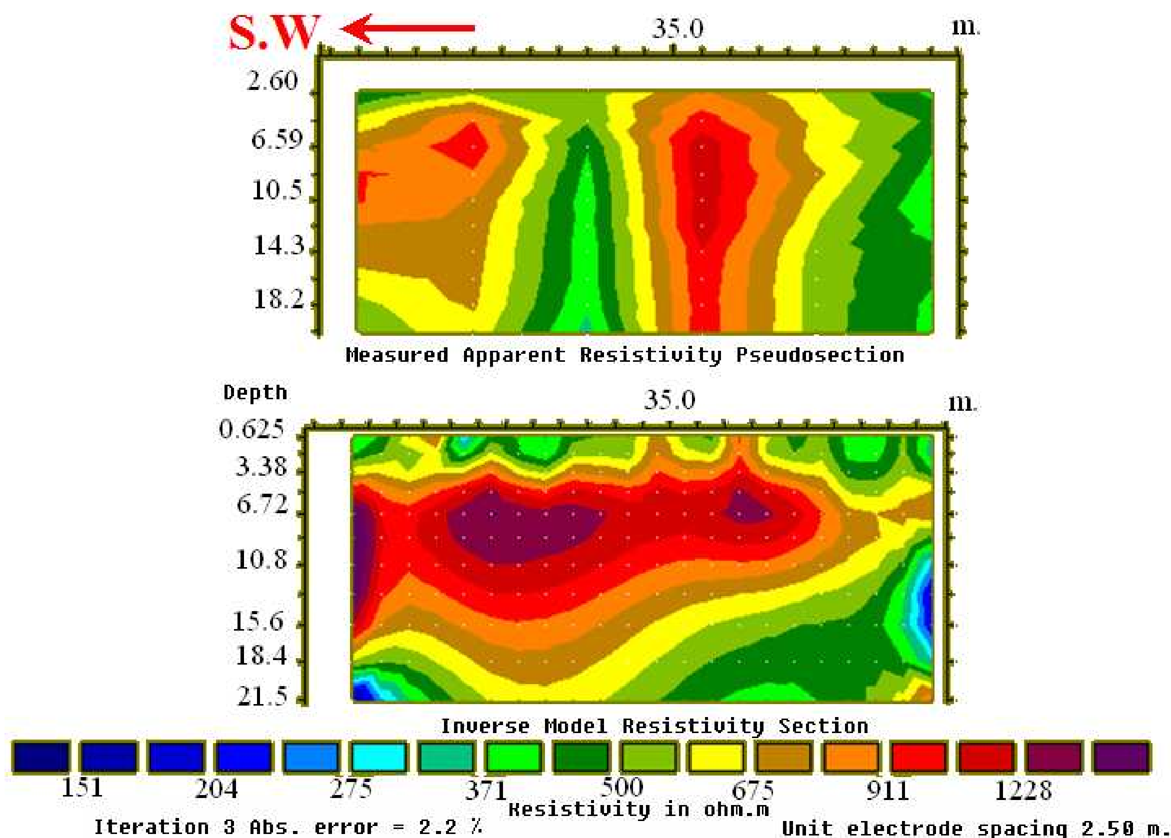
النطاق البازلتي الأوسط فتظهر هنا انقطاعات على المستوى الأفقي كما هو واضح في منتصف هذا البروفيل .



الشكل66: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي التاسع

♦ البروفيل العاشر:

يقع هذا البروفيل شمال- شرق البئر P_3 ويأخذ منحى جنوب غرب ـ شمال شرق، ويبلغ طوله 50 متر وهو مؤلف من 6 محطات قياس تبعد عن بعضها مسافة 10 متر.



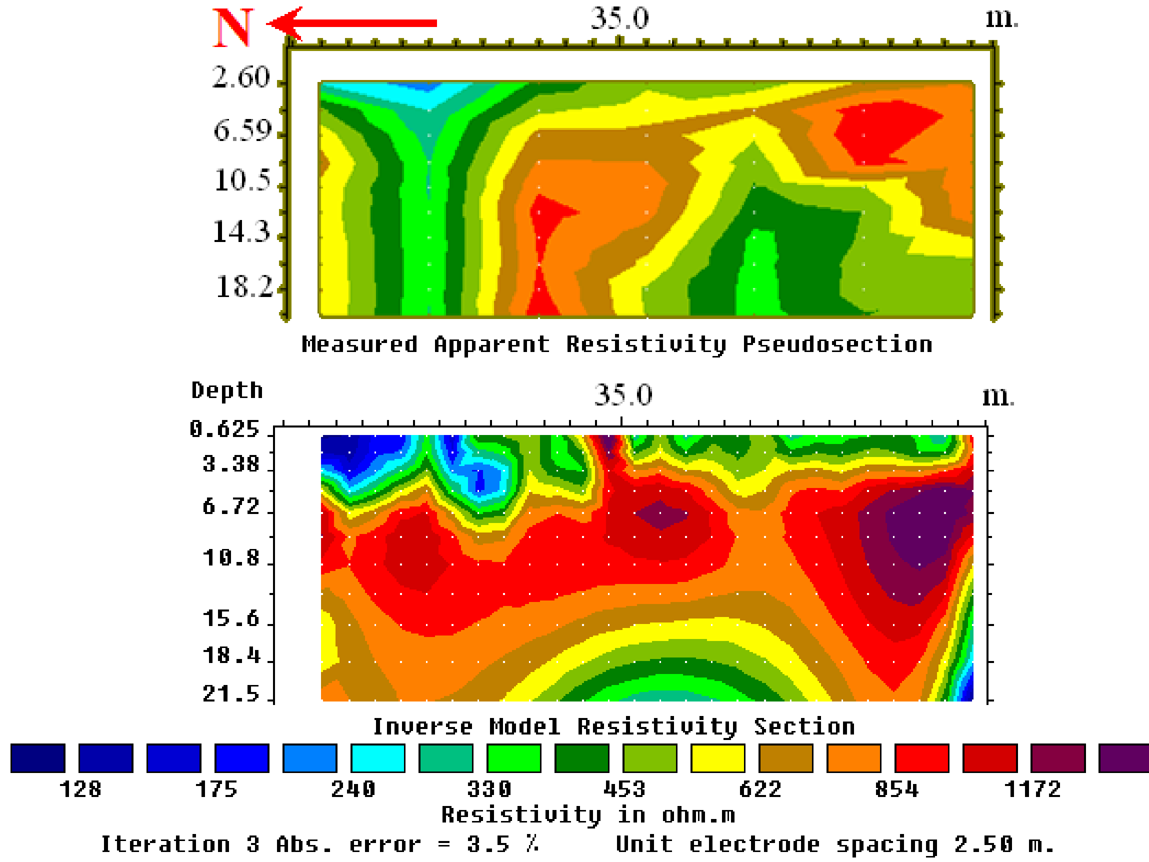
الشكل 67: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي العاشر

يتميز هذا المقطع بانخفاض نسبي لقيم المقاومية الكهربائية للنطاق البازلتي وظهور انقطاعات واضحة ضمن هذا النطاق، وفي الجزء الأخير من هذا البروفيل يختفي هذا النطاق بشكل كلي تقريباً .

- **البروفيل الحادي عشر:**

نفذ هذا البروفيل في منتصف الكتف الغربي للبحيرة تقريباً بمنحى شمال– جنوب، حيث يبلغ طوله 60 متر ، ويتكون من 7 محطات قياس البعد في ما بينها 10 متر.

تظهر في هذا المقطع نفس التوضعات الجيولوجية التي ظهرت في المقطع السابق حيث تنخفض قيم المقاومية الكهربائية في أجزاء النطاق القريب من السطح (التربة الزراعية) حتى Ω.m 100، وترتفع في الجزء الأوسط (النطاق البازلتي) حتى 1300 Ω.m .

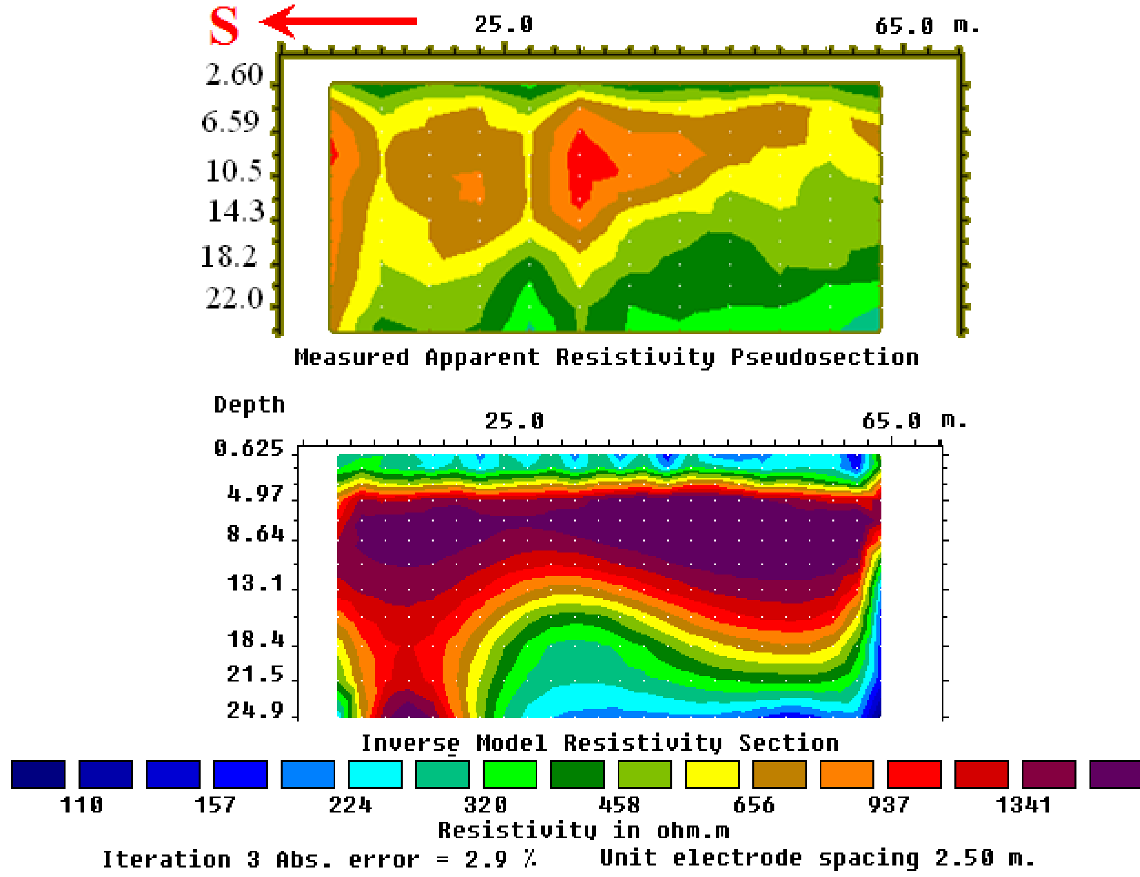


الشكل68: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي ـالشاقولي الحادي عشر

◆ البروفيل الثاني عشر:

نفذ هذا البروفيل بطول السبر 55 متر في منتصف الكتف الغربي شمال البروفيل الحادي عشر، باتجاه جنوب – شمال ، ويتكون من 12 محطة قياس البعد في ما بينها 5 متر.

يستمر في هذا المقطع وجود النطاق البازلتي عالي المقاومية الكهربائية في وسط البروفيلات، حيث تصل مقاوميته الكهربائية إلى حدود 1500 Ω.m، وهو يتوضع على تماس مع النطاق الغضاري في أعلى وأسفل المقطع، كما يلاحظ هنا أيضا امتداد للنطاق البازلتي في بداية البروفيل مع العمق واختفاء جزء من النطاق الغضاري أسفل هذا البروفيل.

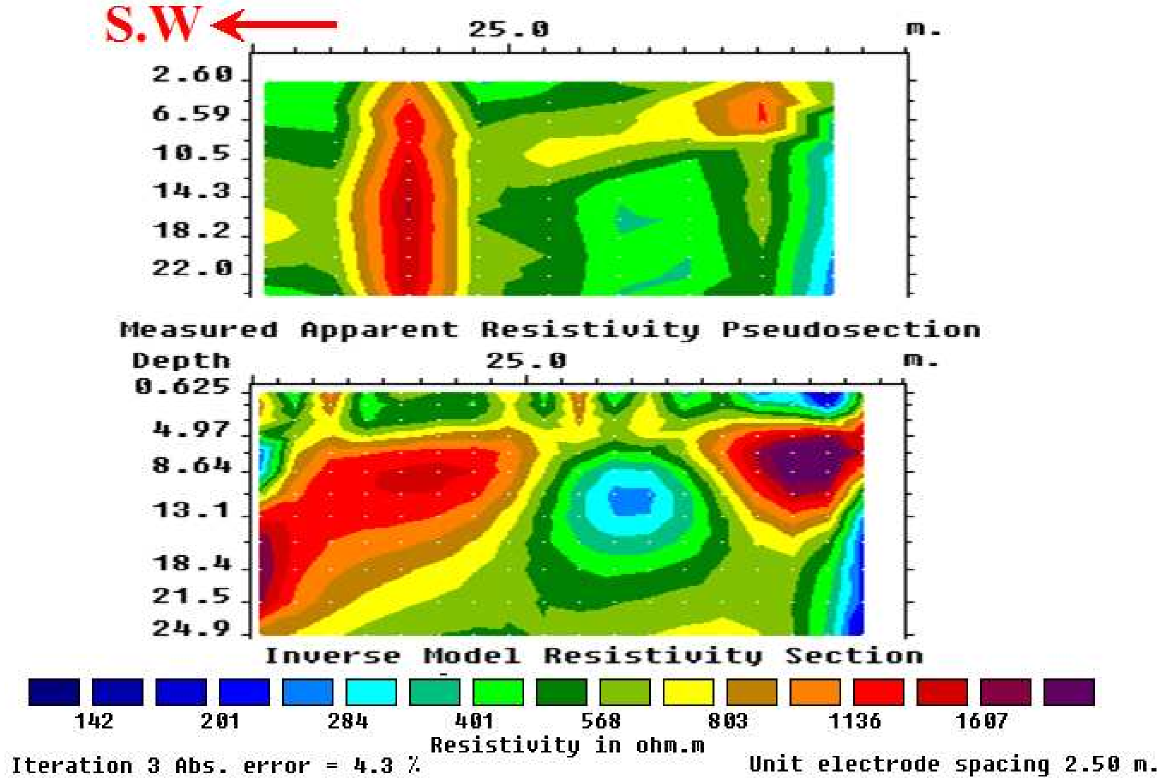


الشكل69: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الثاني عشر

♦ البروفيل الثالث عشر:

نفذ هذا البروفيل بالقرب من كرم معروف باسم كرم الخمرية ، ويأخذ منحى جنوب غرب – شمال شرق ، ويتألف من 9 محطات قياس البعد في ما بينها 5 متر.

يظهر هذا الشكل انقطاع واضح في النطاق البازلتي المميز بالمقاومية الكهربائية العالية، واختلاف في درجة التجوية والتحولات التي طرأت على هذا النطاق من مكان لآخر وبالتالي اختلاف في خواص هذه النطاقات.

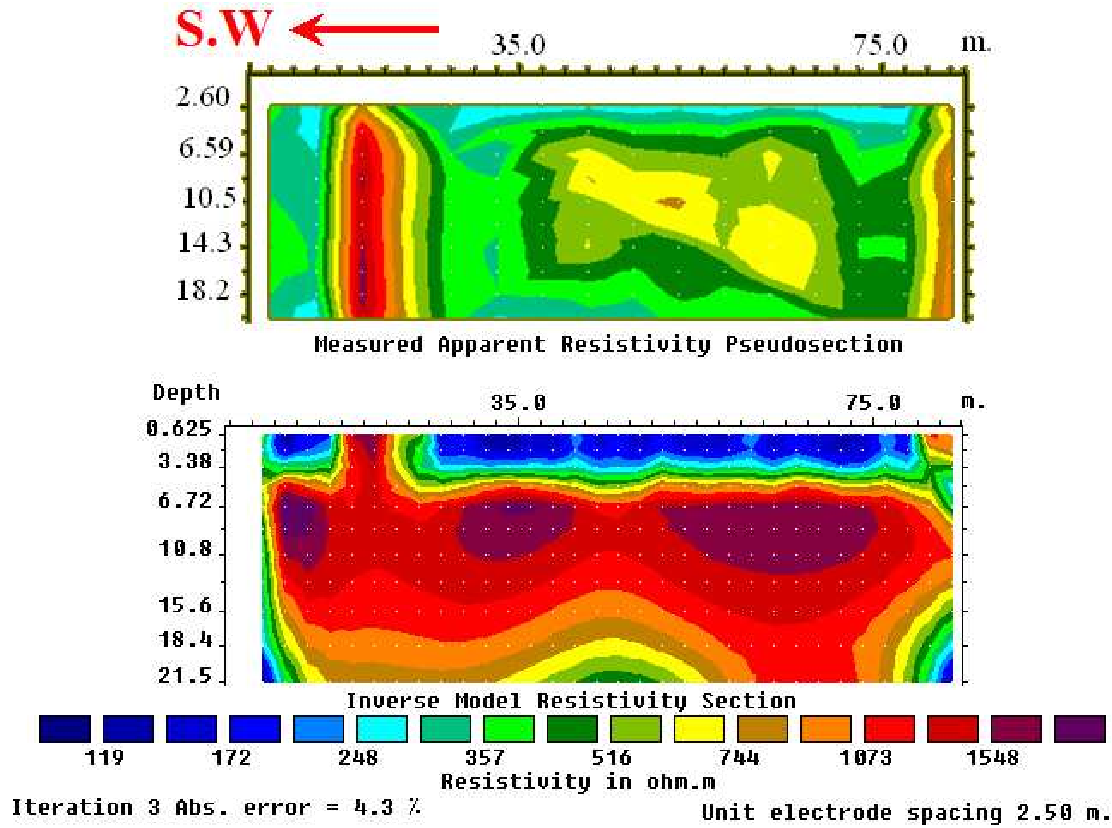


الشكل 70 :نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الثالث عشر

- **البروفيل الرابع عشر:**

نفذ هذا البروفيل بطول 75 متر وهو مؤلف من 16 محطة قياس البعد في ما بينها 5 متر، ويأخذ اتجاه جنوب غرب – شمال شرق .

يلاحظ هنا عودة الصورة السابقة وظهور النطاق البازلتي عالي المقاومية (1600Ω .m) وسط المقطع محاط من الأعلى والأسفل بتوضعات غضارية-لومية غير متجانسة يتخللها كتل وحصى بازلتية، وهنا أيضاً تنفي قيم المقاومية الكهربائية العالية أي احتمال لوجود مياه راشحة ضمن هذه التشكيلات الصخرية .

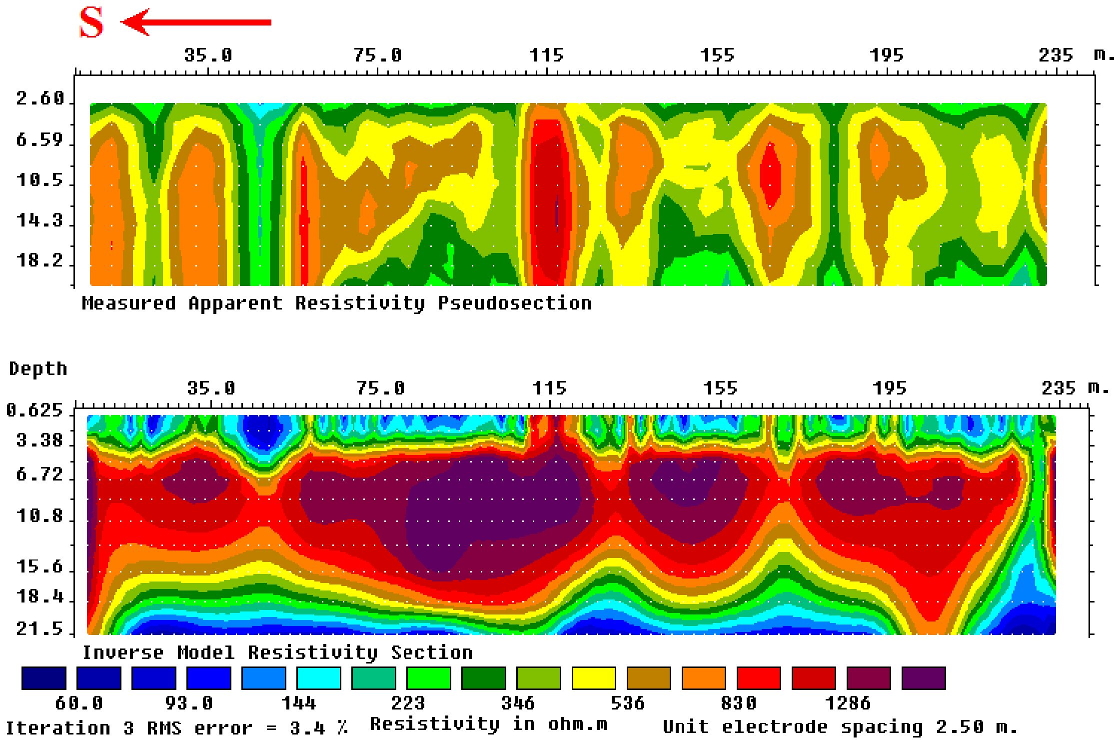


الشكل 71: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الرابع عشر

♦ البروفيل الخامس عشر:

نفذ هذا البروفيل شمال كرم الخمرية عند نهاية البحيرة ويتجه جنوب – شمال ، يبلغ طوله 225 متر ويتكون من 46 محطة قياس البعد في ما بينها 5 متر .

يلاحظ من خلال هذا الشكل استمرارية للنطاق البازلتي عالي المقاومية، ويبدو هنا بوضوح تغير مواصفات هذا الوسط على المستويين الأفقي و الشاقولي وتباين درجة التجوية والتحولات في أجزاء مختلفة من هذا البروفيل، حيث يدل مجال تغير المقاومية الكهربائية ما بين Ω.m 800 و Ω.m 1400 على احتمال وجود فراغات وفجوات وشقوق ضمن هذا النطاق، أما النطاق ذو المقاوميات الكهربائية المنخفضة الذي يتواجد في الأجزاء العلوية والسفلية من البروفيل فهو يشكل خليط من التوضعات الغضارية و الكتل والحصى البازلتية.



الشكل72: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي الخامس عشر

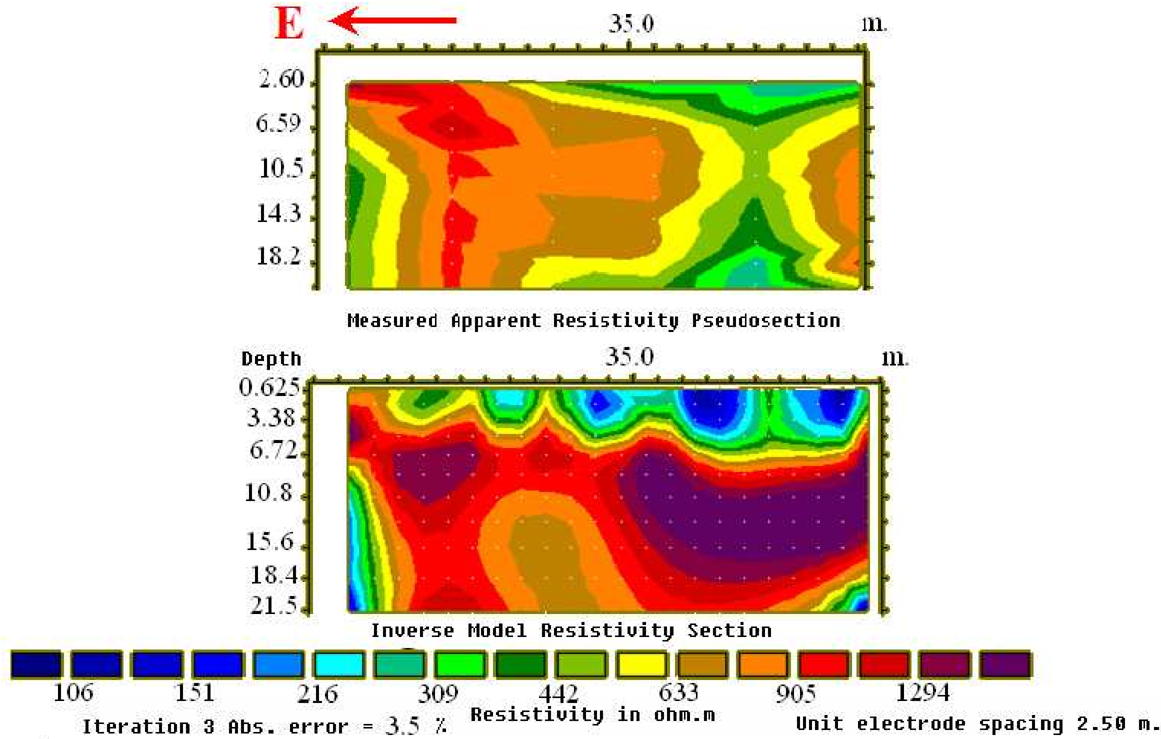
- **البروفيل السادس عشر:**

نفذ هذا البروفيل بشكل عمودي على البروفيل الخامس عشر وعلى بعد 105 متر من بدايته وفق منحى شرق - غرب، وذلك بهدف معرفة مدى استمرارية التوضعات الجيولوجية المذكورة أعلاه بشكل متعامد مع البحيرة .

يبلغ طول هذا البروفيل 50 متر ويتألف من 6 محطات قياس البعد في ما بينها 10 متر.

يلاحظ من خلال هذا الشكل أن الصورة السابقة لم تتغير كثيراً على الرغم اختلاف اتجاه القياس، الأمر الذي يدل على استمرارية وجود نفس التوضعات الجيولوجية التي ظهرت في المقاطع السابقة مع اختلافات طفيفة في سماكتها وخواصها .

يلاحظ بشكل عام في هذا الشكل وجود نطاق قريب من السطح بسماكة بضعة أمتار ذو مقاومية كهربائية منخفضة نسبياً وهو يمثل خليطاً من التوضعات الغضارية و الحصى البازلتية ، بينما يمثل النطاق ذو المقاومية الكهربائية العالية (تصل حتى 1500 Ω.m) والذي ينتشر في معظم أجزاء البروفيل توضعات من البازلت تحتوي على نسب مختلفة من الغضار، كما توجد بعض النطاقات الغضارية الصغيرة تميزت بمقاوميات كهربائية منخفضة في الأجزاء السفلية من بداية ونهاية البروفيل.



الشكل73: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي السادس عشر

♦ البروفيل السابع عشر:

نفذ هذا البروفيل عند نهاية الكتف الغربي للبحيرة بطول 60 متر وبمنحى شمال– جنوب . ويتألف من 7 محطات قياس البعد في ما بينها 10 متر.

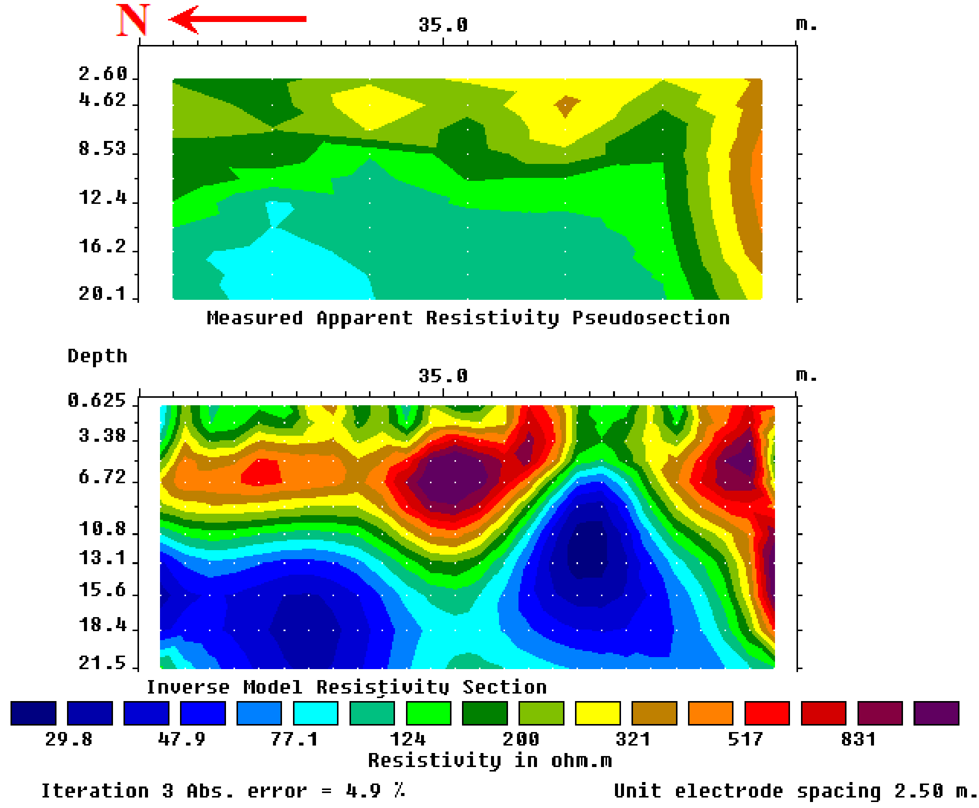
يلاحظ في هذا البروفيل انخفاض قيم المقاومية الكهربائية سواء للنطاق البازلتي وللنطاق الغضاري أيضاً ، حيث يلاحظ أن قيم المقاومية الكهربائية تنخفض إلى ما دون 25 Ω.m وهذا يدل بلا شك على ازدياد نسبة المواد الغضارية في النطاق البازلتي (مرتفع المقاومية الكهربائية) وتحول النطاق الغضاري (منخفض المقاومية الكهربائية) إلى غضار صرف.

يمكن تفسير انخفاض المقاومية الكهربائية في البروفيلين الرابع والسابع عشر اعتماداً على المعطيات الجيولوجية المتوفرة على الشكل الآتي :

يقع البروفيل الرابع في بداية الكتف الغربي من الجهة الجنوبية، حيث يعود مصدر الصخور البركانية في هذا المكان إلى بركان خشعة عمان التي تعود حسب المصادر الجيولوجية إلى عمر البليستوسين [2]، كما يقع البروفيل السابع عشر على الأطراف الشمالية للكتف الغربي حيث تتبع التوضعات هناك والصبات البازلتية في هذا الجزء إلى بركان تل الحصن الذي يعود إلى عمر البليوسين [2].

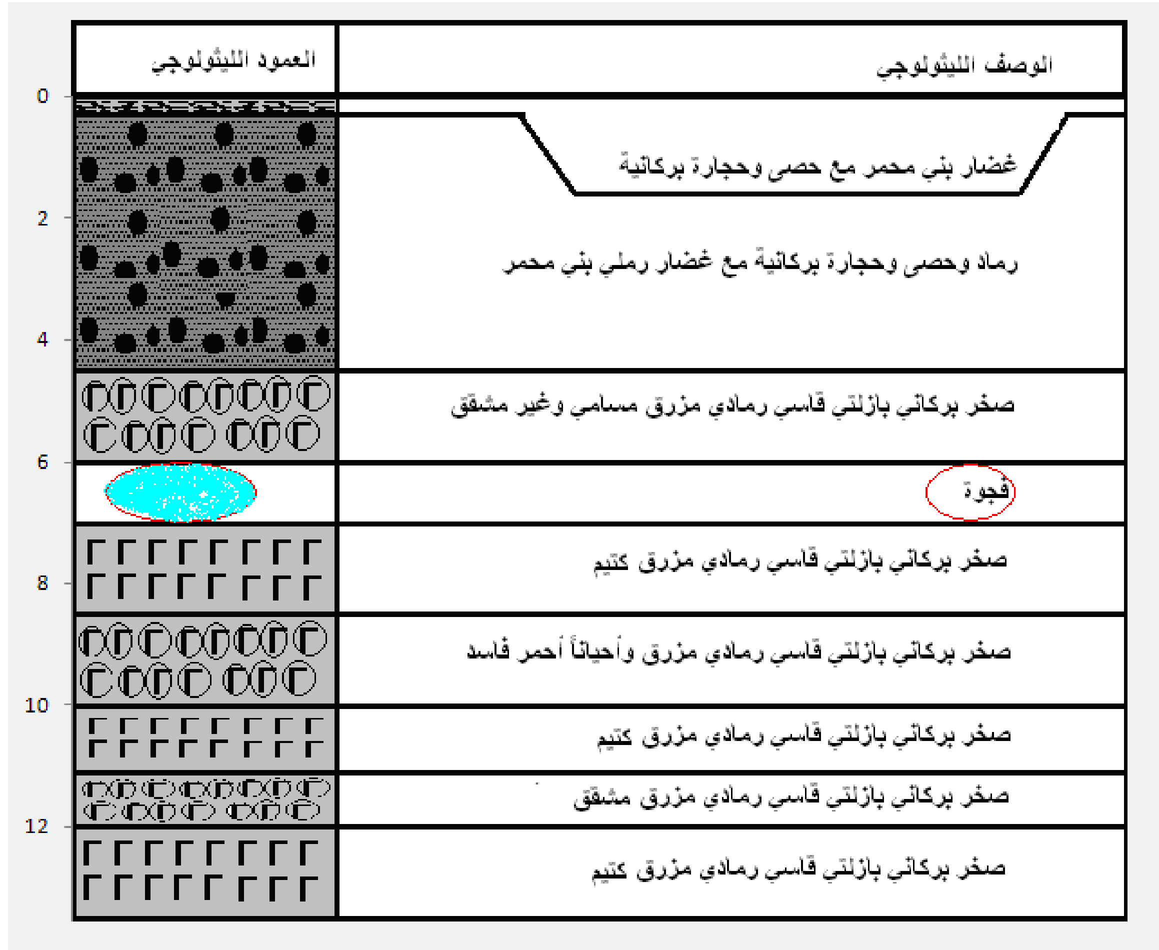
بينما تعود توضعات باقي أجزاء الكتف الغربي إلى بركان تل قليب وتل أبي سماقة أي إلى عمر الهولوسين [2]، وهذا يعني أن عمر الصخور البركانية في موقعي البروفيلين الرابع والسابع عشر أكبر مما هو عليه في سائر مواقع البروفيلات الأخرى الواقعة على

الكتف الغربي، أي أن معدل الفساد الكيميائي للرماد أو الرمل البركاني أو الحصى والحجارة والصبات البازلتية بفعل التجوية في هذين الموقعين أكبر نسبياً وعليه فإن نسبة التوضعات الغضارية ضمن البازلت تكون أكبر .



الشكل74: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي -الشاقولي السابع عشر

من خلال هذا الكم من المقاطع الجيوكهربائية يصبح من الواضح بمكان أن الكتف الغربي يتكون من تناوب للتوضعات الغضارية مع الصبات البازلتية بسماكات تختلف من مكان لأخر، كما توضح البروفيلات السابقة أيضاً وجود نطاقات متقطعة من الصبات البازلتية الصرفة، حيث تكون قيم المقاومية الكهربائية فيها عالية نسبياً من 1000 Ω.m إلى 2000 Ω.m وهي نطاقات وصفت حسب نتائج السبور الميكانيكية $B9.B10.P_1.P_2.P_3.P_4.P_5.P_6$ المحفورة في أماكن متفرقة من هذا الكتف بأنها تمثل بازلت أصم أو بازلت فراغي ومشقق وأحياناً تشير لوجود فجوات فارغة ضمن هذه الصبات البازلتية لاحظ الشكل الآتي .



الشكل75: السبر الميكانيكي P_2 [4]

لتقييم وضع الرشح على الكتف الغربي في فترة تنفيذ هذه المقاطع الجيوكهربائية تم إعادة تنفيذ قياس كلاً من البروفيلين السابع والسابع عشر في ظروف مختلفة يمكن تلخيصها كما يلي :

تم تنفيذ هذا القياس في المرة الأولى في نيسان عام 2007 عندما كانت بحيرة السد تحوي على 2.5 مليون متر مكعب تقريباً من المياه وبارتفاع نسبي يقدر بـ 3 متر، وعليه يحتمل أن يكون النطاق الثالث 'ذو المقاومية الكهربائية المنخفضة' الذي ظهر في معظم مقاطع الكتف الغربي نطاق راشح.

للتأكد من هذا الموضوع تمت أعادة القياس للبروفيلين السابع والسابع عشر في شهر أيلول من عام 2008 حيث كانت بحيرة السد فارغة من المياه ولا تحوي على أي كمية من المياه ، وبناءً على هذه الظروف لا يمكن أن تكون هناك أي نطاقات راشحة .

يذكر أن أعادة القياس تم بنفس المعدات والأجهزة ، واستخدمت نفس بارامترات القياس التي استخدمت في المرة الأولى.

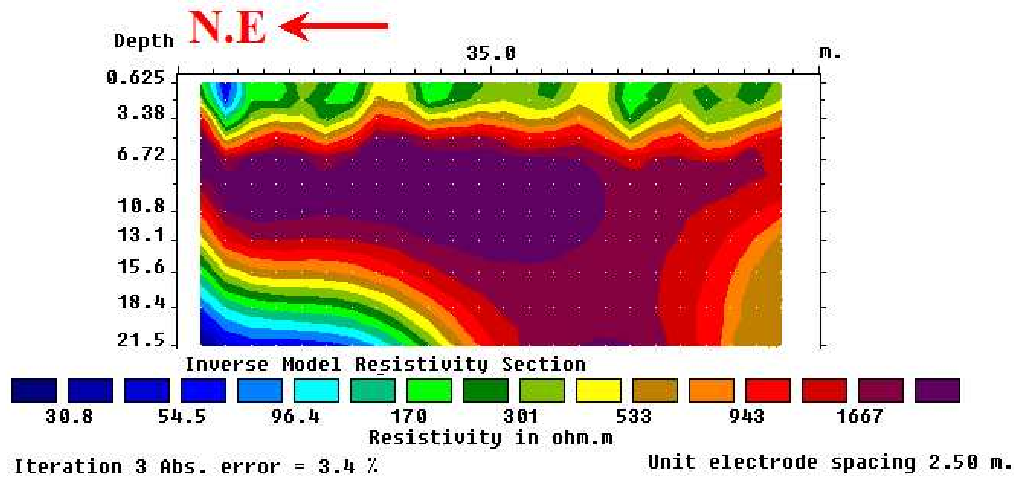
يمثل الشكل الآتي (76) مقارنة بين نتائج قياسات البروفيل السابع المنفذة في نيسان من عام 2007 وبين نتائج القياس المنفذة في أيلول من عام 2008، أما الشكل (77) فهو يمثل مقارنة لنتائج قياسات البروفيل السابع عشر.

يعد الهدف الأساسي من إعادة تنفيذ القياس هو إجراء مقارنة لقيم المقاومية الكهربائية الناتجة عن كلا القياسين (قياس نيسان عام 2007 وقياس أيلول 2008) لتحديد فيما إذا كان هناك نطاقات راشحة ضمن التوضعات الجيولوجية في الفترة التي أجري فيها القياس الأول في نيسان 2007 .

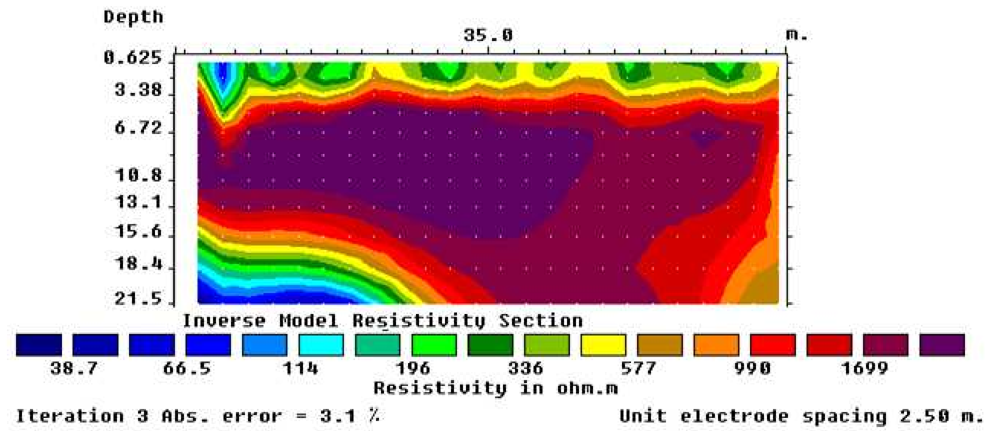
بشكل عام يؤدي وجود مياه راشحة ضمن التوضعات الجيولوجية إلى اختلاف جذري في أماكن و أشكال نطاقات المقاومية الكهربائية عن تلك الناتجة عن نفس التوضعات الجيولوجية الجافة، لكن نظرة إلى المقطعين أعلاه تبين دون أدنى شكك وجود تشابه كبير مابين أماكن وأشكال نطاقات المقاومية الكهربائية وهذا يدل على أن الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية في كل من القياسين الأول والثاني متشابهه إلى حد كبير، بناء عليه نخلص إلى النتائج الآتية :

- عدم وجود رشح لمياه البحيرة من خلال التوضعات الجيولوجية التي وصفت في المقاطع السابقة وذلك في الفترة التي نفذ فيها القياس الأول (نيسان 2007) .
- يشكل النطاق الثالث الذي ظهر في معظم مقاطع الكتف الغربي نطاق غضاري منخفض المقاومية .
- تؤكد هذه النتائج أيضاً قياسات الكمون الذاتي التي لا تشير إلى وجود شاذات للحقل الكموني ناتجة عن حركة المياه ضمن أكتاف البحيرة كما تم الإشارة سابقاً، إضافة لذلك لم يلاحظ في فترة تنفيذ الأعمال الجيوفيزيائية الحقلية وجود شواهد حقلية تدل على رشح المياه كتلك التي كانت تظهر على شكل ينابيع متفرقة على أطراف البحيرة عندما كان مخزون المياه في البحيرة أكبر من المخزون الذي كان عليه أثناء تنفيذ الأعمال الجيوفيزيائية الحقلية .

نتائج البروفيل السابع -نيسان عام 2007

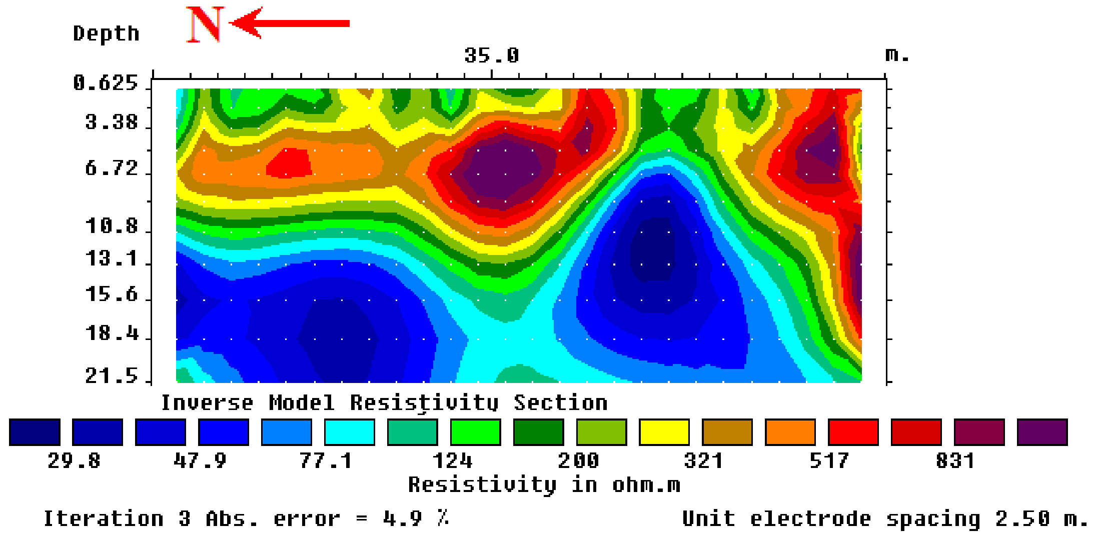


نتائج البروفيل السابع - أيلول عام 2008

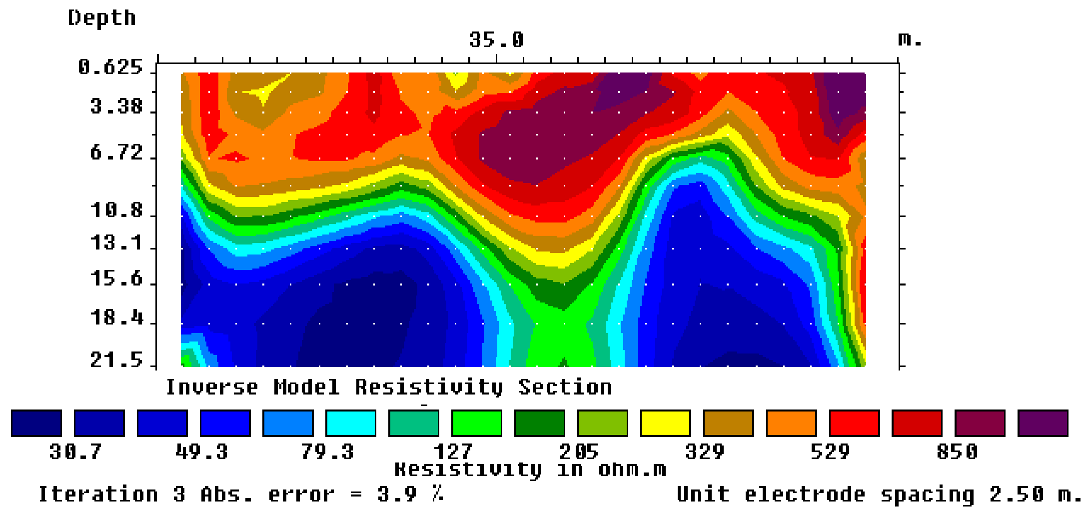


الشكل 76 شكل توضيحي يمثل مقارنة مابين القياس الأول والقياس الثاني في السبر الجيوكهربائي الأفقي الشاقولي السابع

نتائج البروفيل السابع عشر - نيسان 2007



نتائج البروفيل السابع عشر - أيلول 2008



الشكل 77 شكل توضيحي يمثل مقارنة مابين القياس الأول والقياس الثاني في السبر الجيوكهربائي الأفقي الشاقولي السابع عشر

4.2.3.5. القياسات السيزمية الإنكسارية

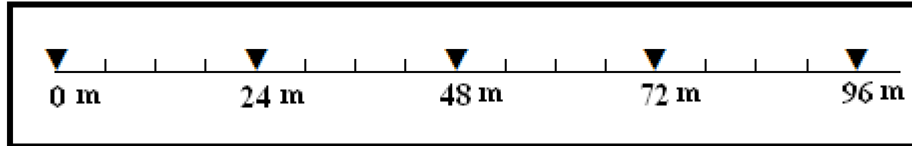
تم تنفيذ القياسات السيزمية الإنكسارية لتحديد العوامل الآتية:

- تغيرات السرع ضمن التوضعات الجيولوجية الموجودة في منطقة الدراسة.
- استمرارية السطوح الفاصلة بين التوضعات الجيولوجية.
- تحديد أعماق التوضعات الجيولوجية في منطقة الدراسة.
- طبيعة الصخورالبازلتية المتواجدة في الكتف الغربي، و التي تزيد فيها قيم المقاومية الكهربائية عن 1000 Ω.m، وهل هي صبات مصمتة كتيمة أم مشققة أو أنها عبارة عن حصى وحجارة بركانية مفككة . وسنعتمد في تفسير البروفيلات السيزمية على نتائج قياسات المقاومية الكهربائية المنفذة في نفس المواقع .

البروفيل الأول

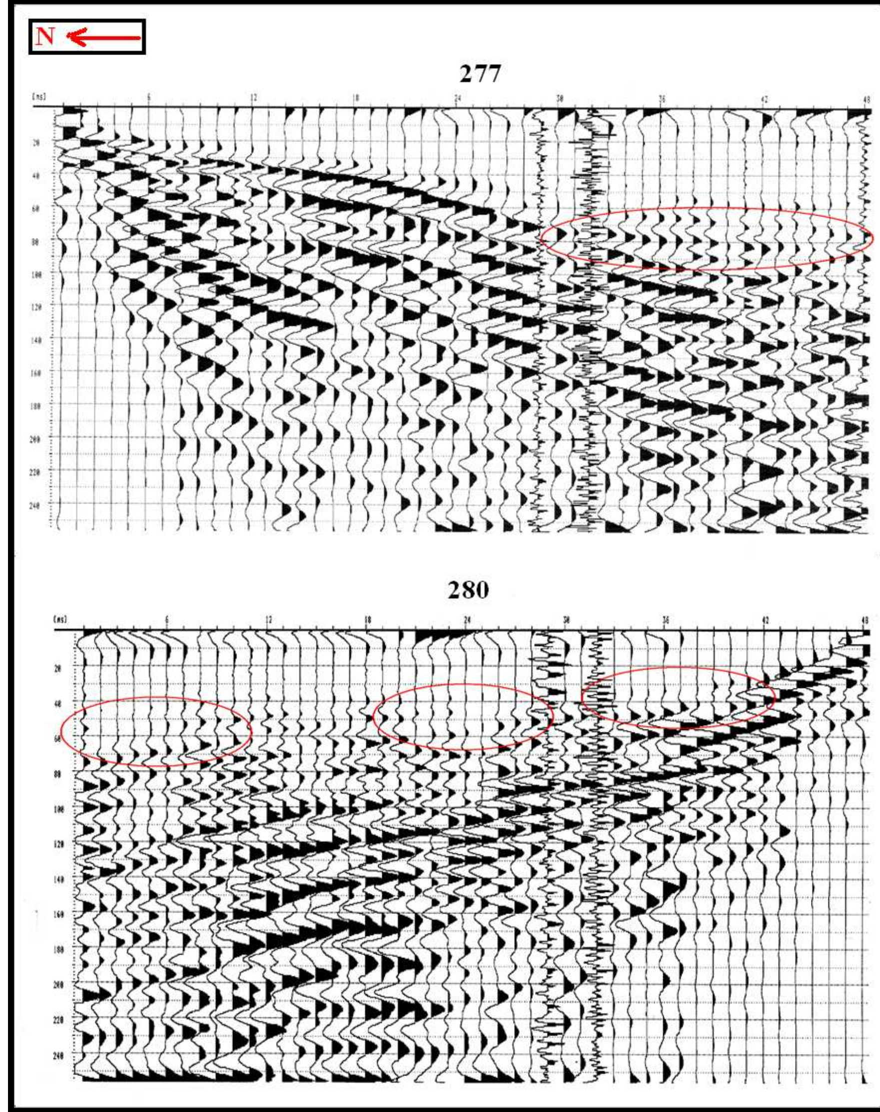
يقع هذا البروفيل شمال جسم السد ويأخذ اتجاه شمال– جنوب. ينطبق خط هذا البروفيل على البروفيل الكهربائي الرابع في معظم أجزائه كما يظهر في الشكلين (29) و(30). يرتفع هذا البروفيل بحدود 1 متر فوق منسوب التخزين المائي الأعظمي للسد و بحدود 9 متر فوق منسوب قاع البحيرة، بلغ حجم التخزين المائي في السد أثناء قياس هذا البروفيل 2 مليون متر مكعب تقريباً.

نفذ هذا البروفيل ضمن مجموعتين من اللواقط ، تتكون كل مجموعة من 48 لاقط ، التباعد فيما بينها من $\Delta x = 1m$. تم إصدار الطاقة في كل مجموعة من الطرفين ومن الوسط، ولزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج تم إجراء تكديس شاقولي للطاقة من المنبع لعشر مرات، وقد بلغ طول التسجيل الزمني 256 ms ضمن مجال من الترددات يتراوح مابين 25 Hz إلى 250 Hz.



الشكل 78 مخطط يبين نظام الرصد من حيث توزع المنابع و اللواقط ضمن البروفيل الأول
▼ - منبع. I - لاقط.

بناءً على ما سبق تم الحصول على النتائج المعروضة في الأشكال الآتية.



الشكل 79: المجموعة الأولى من البروفيل السيزمي الأول

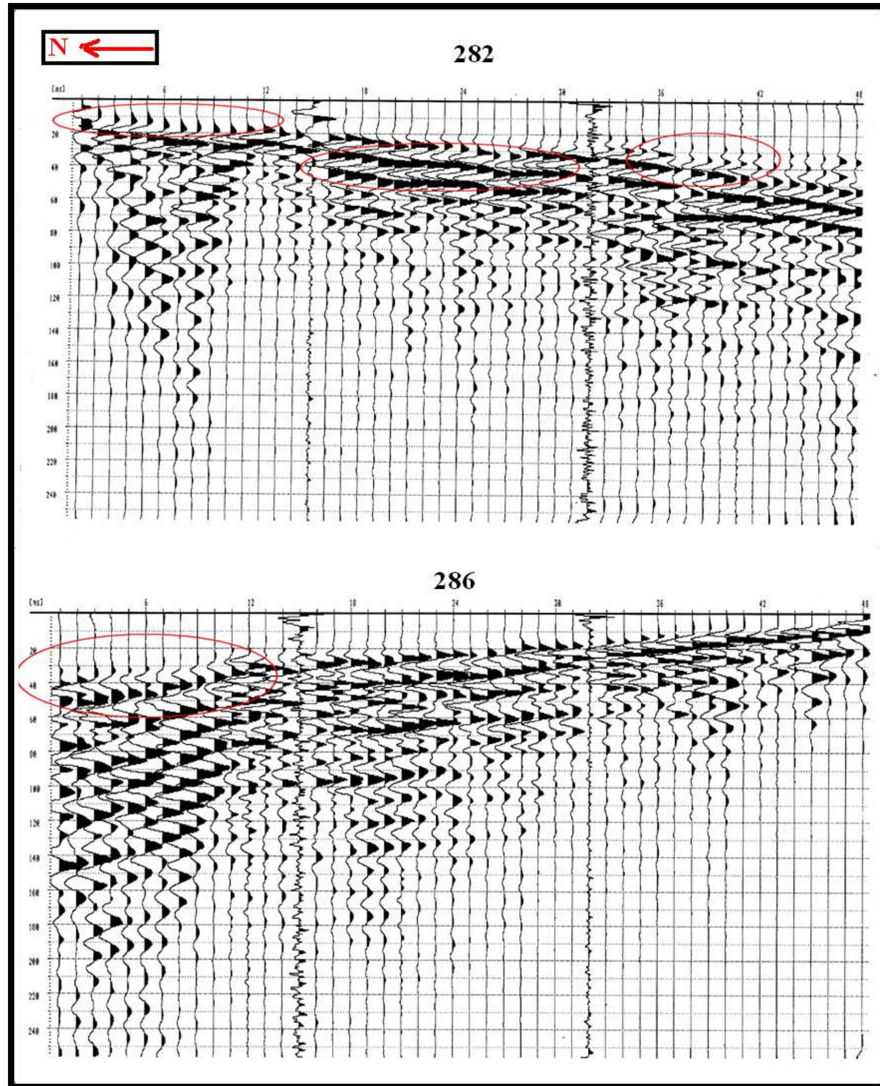
من خلال التحليل المباشر للمعطيات السيزمية للمجموعة الأولى ضمن البروفيل الأول تم تميز النطاقات الآتية:

- ♦ النطاق الأول : ذو سرعة مقدارها $150\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 0.5 متر و 1 متر، يمثل هذا النطاق التربة الزراعية.
- ♦ النطاق الثاني: ذو سرعة تتراوح بين $300\ m.s^{-1}$ و $700\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 2 متر و 3 متر، حيث يمثل هذا النطاق توضعات بركانية مفككة تحوي على كميات محدودة من الغضار.
- ♦ النطاق الثالث: ذو سرعة تتراوح بين $1200\ m.s^{-1}$ و $2000\ m.s^{-1}$ سماكته غير محددة، وهذه السرع تتوافق مع خليط من الصخور البازلتية مع نسب كبيرة من

التوضعات الغضارية، إضافة إلى الصبات البازلتية الحاوية على نسب مختلفة من الشقوق، التي من الممكن أن تكون حاوية على مياه راشحة.

يلاحظ أيضاً من خلال الجزء العلوي من هذا الشكل أنه إضافة إلى السرع المنخفضة في النطاق الأول وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 30 متر من المنبع وحتى نهاية المجموعة، كما يلاحظ ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 24- 36 متر في الجزء الأسفل من الشكل.

يلاحظ أيضاً أن الحقل الموجي يتشوه من الأعلى إلى الأسفل في حال تشوه الوصولات الأولية في البروفيل أو في حال غياب الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة الأولية.



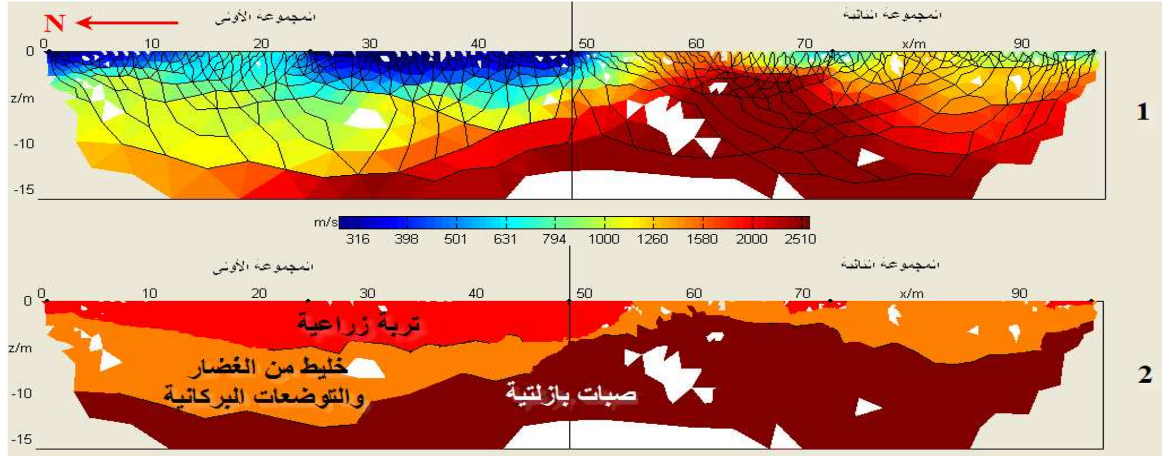
الشكل 80: المجموعة الثانية من البروفيل السيزمي الأول

من خلال التحليل المباشر للمعطيات السيزمية للمجموعة الثانية في البروفيل الأول تم تميز النطاقات الآتية:

- النطاق الأول: نطاق مكون من التوضعات الغضارية تبلغ سرعته $100\ m.s^{-1}$ وسماكته بحدود 0.5 متر
- النطاق الثاني: تتراوح السرع في هذا النطاق بين $1200\ m.s^{-1}$ و $1500\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 2 متر و 4.5 متر، وهذه السرع تنتج بشكل عام عن خليط من الحجارة البازلتية و التوضعات الغضارية.
- النطاق الثالث: يتراوح مجال السرع في هذا النطاق بين $2400\ m.s^{-1}$ و $3000\ m.s^{-1}$، وهو نطاق بازلتي مشقق بطبيعة الحال قد تحوي شقوقه وفراغاته على مياه راشحة.

يلاحظ وجود تشوه أقل في الوصولات الأولية من المجموعة الأولى إضافة إلى الازدياد في قوة ووضوح هذه الوصولات ، لكن هذا لا ينفي عدم وجود بعض الانقطاعات في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة بالقرب من المنبع على بعد 5 إلى 10 متر منه ، كما تغيب أيضا على بعد 36 إلى 40 متر منه في الجزء العلوي من الشكل، بينما يلاحظ وجود سطح كاسر في نهاية البروفيل على بعد 33 إلى 47 متر من المنبع ذو سرعة منخفضة بحدود السرعة في النطاق الأول في الجزء الأسفل من الشكل.

لتأكيد المعلومات أعلاه تم استخدام البرنامج Ra2dTomo لحساب السرع السيزمية الحقيقية في كلتا المجموعتين، حيث تمثلت النتائج على الشكل الآتي:



الشكل 81: 1- السرع السيزمية الحقيقية للبروفيل الأول .
2 - المقطع الجيولوجي الناتج عن السرع السيزمية في البروفيل الأول

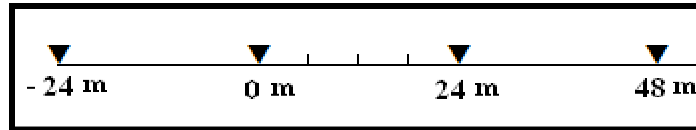
يظهر من خلال هذا الشكل أن السرع السيزمية الحقيقية في البروفيل السيزمي الأول، تتراوح ما بين $300\ m.s^{-1}$ و $2500\ m.s^{-1}$ ابتداءً من سطح الأرض وحتى عمق يصل إلى حدود 15 متر. بشكل عام يمكن من خلال السرع السيزمية في البروفيل الأول تميز التوضعات الجيولوجية الآتية:

- تربة زراعية (باللون الأحمر) تتوضع في أعلى البروفيل تتراوح سماكاتها من 0 إلى 2 متر.
- صخور بركانية مفككة تتكون من رماد بركاني و حصى وحجارة بازلتية(باللون البرتقالي) تتكشف على سطح الأرض في بعض أجزاء البروفيل وتمتد إلى أعماق تزيد عن 10 متر.
- صبات بازلتية (باللون البني) حاوية على شقوق وفراغات فارغة أو تحوي على توضعات غضارية أو مياه راشحة في حال وجودها، تتواجد هذه التوضعات على أعماق مختلفة تتراوح من سطح الأرض في بعض أجزاء البروفيل إلى نهاية البروفيل (عمق 15 متر تقريباً) .

البروفيل الثاني

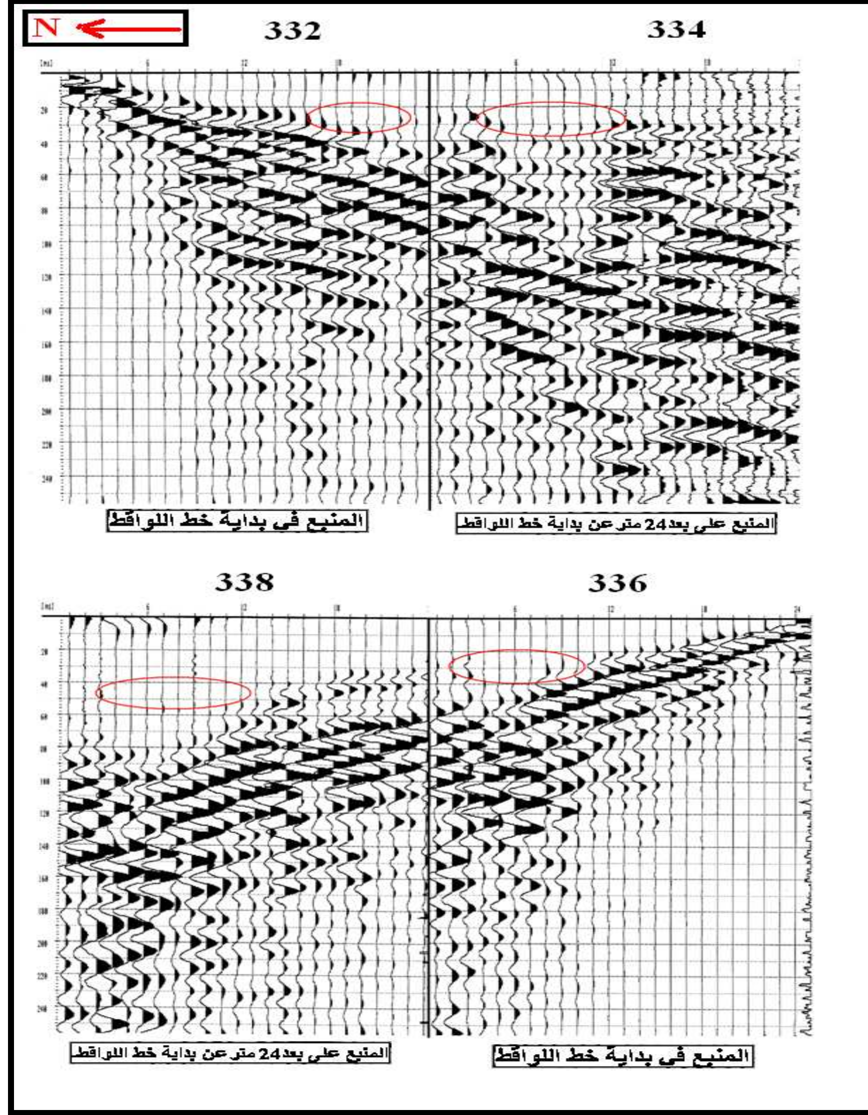
يقع هذا البروفيل بالقرب من كرم الخمرية ويأخذ اتجاه جنوب غرب – شمال شرق. يغطي هذا البروفيل نهاية البروفيل الكهربائي الثالث عشر و بداية البروفيل الكهربائي الرابع عشر كما يظهر في الشكلين (29) و(30). ويرتفع بحدود 1 متر فوق منسوب التخزين المائي الأعظمي للسد و بحدود 9 متر فوق منسوب قاع البحيرة، وبحدود 6 متر فوق منسوب التخزين المائي في السد أثناء قياسه. بلغ حجم التخزين المائي في السد أثناء قياس هذا البروفيل أيضا 2 مليون متر مكعب تقريباً.

نفذ هذا البروفيل ضمن مجموعة واحدة تتكون من 24 لاقط ، التباعد فيما بينها من $\Delta x = 1m$. تم إصدار الطاقة في كل مجموعة من الطرفين ومن الوسط، ولزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج تم إجراء تكديس شاقولي للطاقة من المنبع ست مرات، وقد بلغ طول زمن التسجيل 256 ms ضمن مجال من الترددات يتراوح مابين 15 Hz إلى 250 Hz.



الشكل 82: مخطط يبين نظام الرصد من حيث توزع المنابع و اللواقط ضمن البروفيل الثاني
▼ - منبع. I - لاقط.

بناءً على ما سبق تم الحصول على النتائج المعروضة في الشكل الآتي.

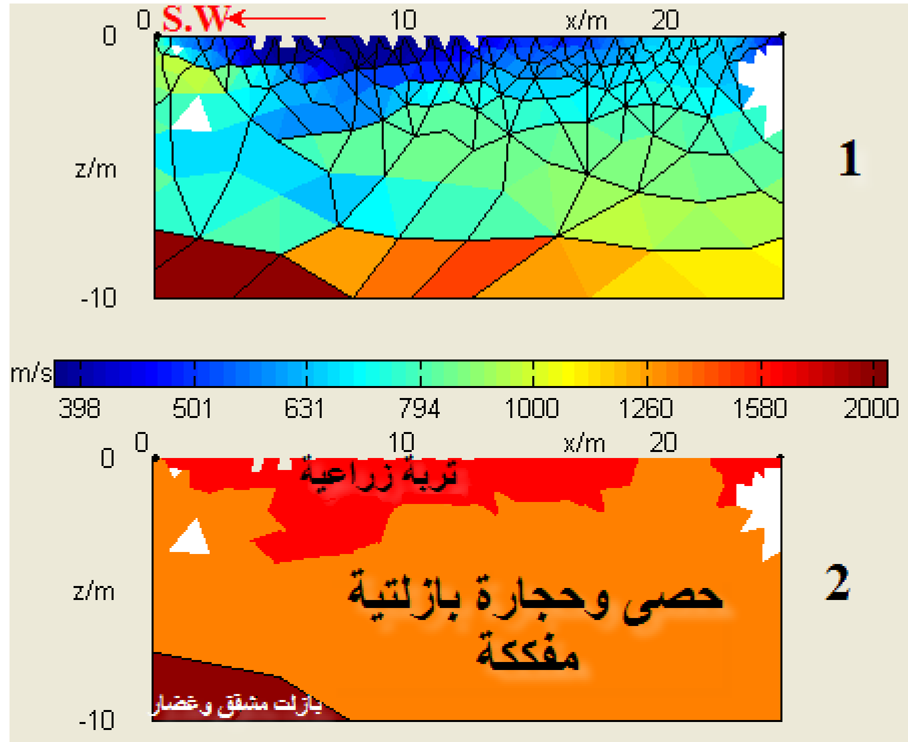


الشكل 83: البروفيل السيزمي الثاني

يعطي التحليل المباشر للمعطيات السيزمية للبروفيل الثاني المعطيات الآتية:

- النطاق الأول: يمثل هذا النطاق تربة زراعية سرعة الأمواج السيزمية فيها $200\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 0.3 متر و 0.7 متر
- النطاق الثاني: ذو سرعة تتراوح بين $600\ m.s^{-1}$ و $750\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 2.5 متر و 4 متر، والسبب في ازدياد السرعة في هذا النطاق عن النطاق الأول هو الصخور البازلتية الموجودة فيه من حصى وحجارة.
- النطاق الثالث: خليط من الصخور البازلتية مع التوضعات الغضارية التي من الممكن أن تحوي على المياه الراشحة، حيث تتراوح سرع الأمواج السيزمية بين $1500\ m.s^{-1}$ و $2000\ m.s^{-1}$.

يلاحظ من خلال الحقول الموجية في الشكل السابق وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 10 إلى 24 متر من المنبع في الجزء العلوي من الشكل السابق، بينما يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 6 إلى 14 متر وعلى بعد 20 إلى 24 متر من المنبع في الجزء الأسفل من الشكل السابق، حيث تظهر هذه الانقطاعات ضمن النطاق الثالث في هذا الجزء. وباستخدام برنامج تحديد السرع :



الشكل 84 :   1- السرع السيزمية الحقيقية للبروفيل الثاني .
2- المقطع الجيولوجي الناتج عن السرع السيزمية في البروفيل الثاني

يظهر من خلال هذا الشكل أن السرع السيزمية الحقيقية في البروفيل السيزمي الثاني، تتراوح ما بين $\mathrm{m.s^{-1}}$ 350 و $\mathrm{m.s^{-1}}$ 2000 ابتداءً من سطح الأرض وحتى عمق يصل إلى 10 متر.

تعبر السرع السيزمية في البروفيل الثاني عن وجود التوضعات الجيولوجية الآتية:

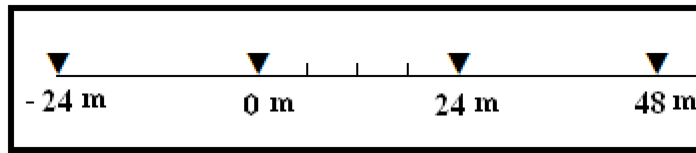
- ♦ تربة زراعية (باللون الأحمر) تتوضع في أعلى البروفيل سماكاتها من 0 إلى 1 متر.
- ♦ صخور بركانية مفككة تتكون من رماد بركاني و حصى وحجارة بازلتية (باللون البرتقالي) تتكشف على سطح الأرض في بعض أجزاء البروفيل وتمتد على كامل عمق البروفيل.

♦ خليط من الكتل البازلتية المشققة و التوضعات الغضارية (باللون البني) يقع في أسفل الجزء الأمامي من البروفيل.

البروفيل الثالث

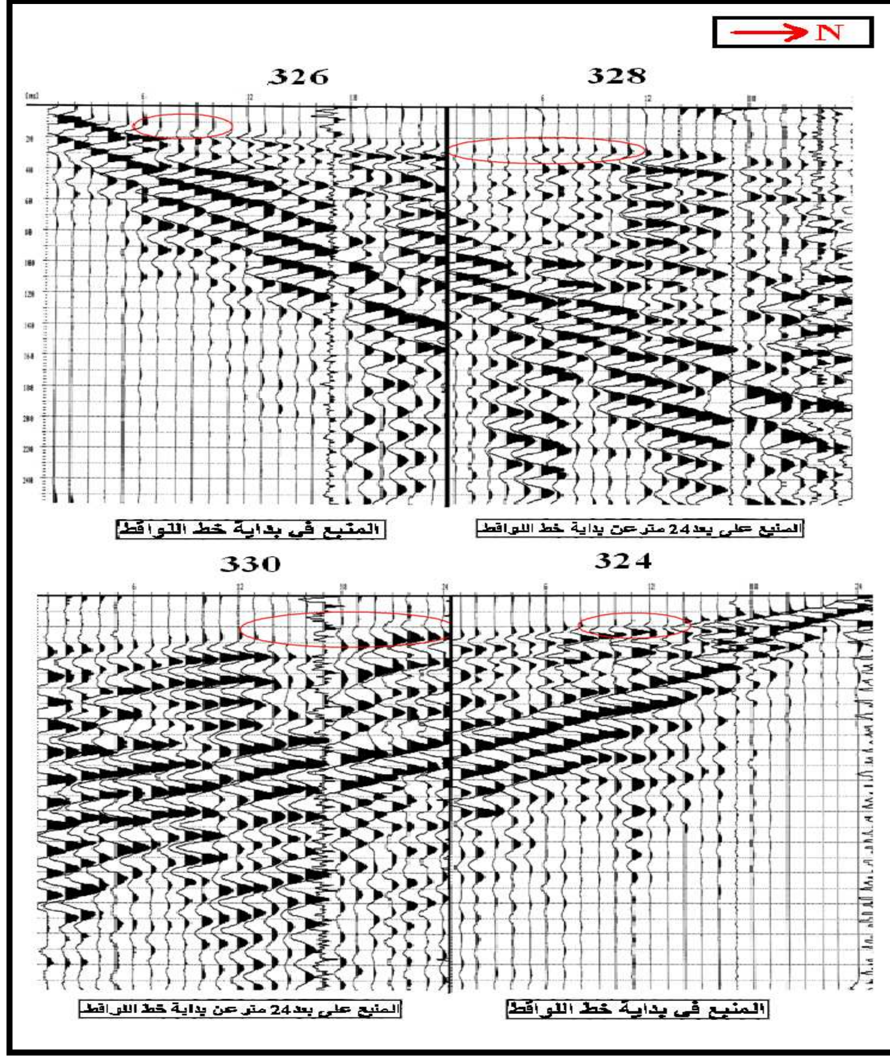
يقع هذا البروفيل شمال-غرب كرم الخمرية حيث يأخذ اتجاه شمال– جنوب ضمن البروفيل الكهربائي الخامس عشر كما يظهر في الشكلين (29) و(30). يرتفع بحدود 2 متر فوق منسوب التخزين المائي الأعظمي للسد و بحدود 10 متر فوق منسوب قاع البحيرة، وبحدود 8.5 متر فوق منسوب التخزين المائي في السد أثناء قياسه.

نفذ هذا البروفيل ضمن مجموعة واحدة تتكون من 24 لاقط ، التباعد فيما بينها من $\Delta x = 1m$. تم إصدار الطاقة في كل مجموعة من الطرفين ومن الوسط، ولزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج تم إجراء تكديس شاقولي للطاقة من المنبع ست مرات، وقد بلغ طول زمن التسجيل 256 ms ضمن مجال من الترددات يتراوح مابين 15 Hz إلى 250 Hz.



الشكل 85 : مخطط يبين نظام الرصد من حيث توزع المنابع و اللواقط ضمن البروفيل الثالث
▼ - منبع. I- لاقط.

حيث تم الحصول على النتائج المعروضة في الشكل الآتي:

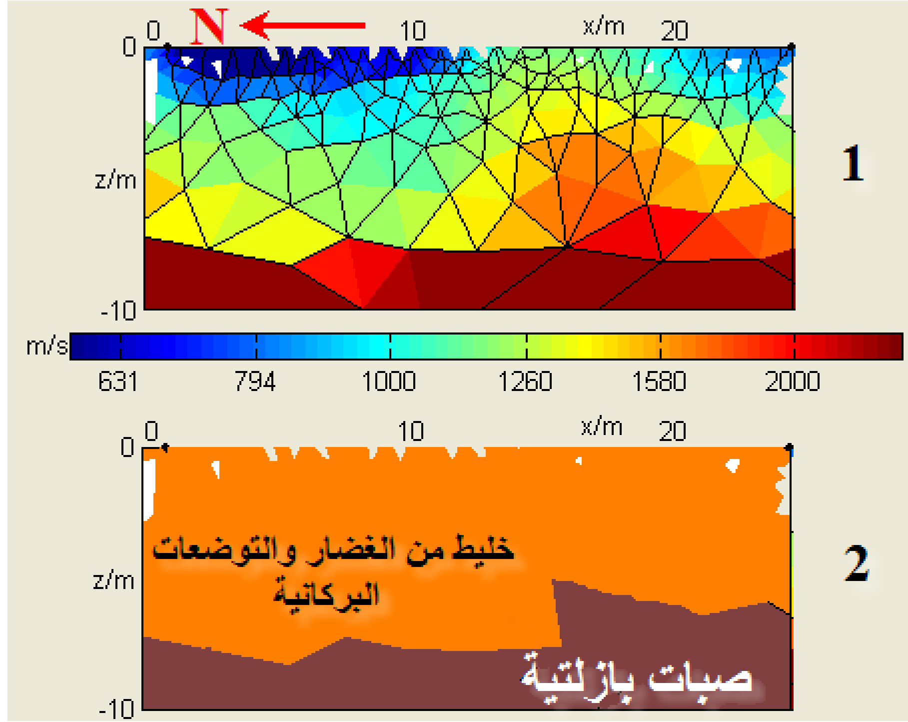


الشكل 86: البروفيل السيزمي الثالث

من خلال التحليل المباشر للمعطيات السيزمية للبروفيل الثالث تم تميز النطاقات الآتية:

- النطاق الأول : نطاق مكون من التربة الزراعية ذو سرع تتراوح بين $100\ m.s^{-1}$ و $200\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 1 متر و 5 متر
- النطاق الثاني: ذو سرعة تتراوح بين $1200\ m.s^{-1}$ و $1500\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 6 متر و 8 متر، حيث من المرجح أن يكون هذا النطاق مكون من توضعات غضارية بشكل عام يتخللها بعض الحصى والحجارة البازلتية.
- النطاق الثالث : نطاق مكون من الصخور البازلتية المشققة تبلغ فيه سرعة الأمواج السيزمية $3000\ m.s^{-1}$ ، وفي هذا النطاق هناك احتمال لوجود المياه الراشحة .

يلاحظ بشكل عام وجود غياب الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 6 إلى 10 متر من المنبع ويستمر هذا الانقطاع مع ازدياد عمق الاختراق في الجزء العلوي من الشكل السابق، بينما يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 6 إلى 12 متر من المنبع في الجزء السفلي من الشكل السابق.
يبين الشكل الآتي السرع السيزمية الحقيقية لهذا البروفيل .



الشكل 87: 1- السرع السيزمية الحقيقية للبروفيل الثالث .
2- المقطع الجيولوجي الناتج عن السرع السيزمية في البروفيل الثالث

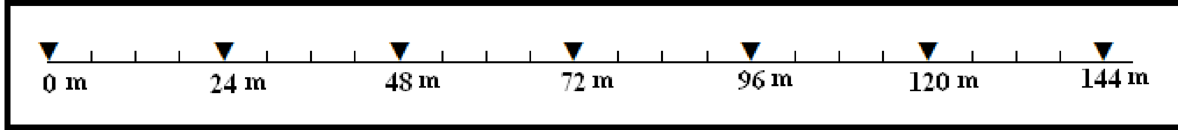
يلاحظ أن مجال السرع السيزمية الحقيقية في البروفيل السيزمي الثالث يتراوح ما بين $600\ m.s^{-1}$ و $2500\ m.s^{-1}$ ابتداءً من سطح الأرض وحتى عمق 10 متر.
تمثل السرع السيزمية في البروفيل الثالث التوضعات الجيولوجية الآتية:

- خليط من التوضعات الغضارية و الصخور البركانية التي تتكون من رماد بركاني و حصى وحجارة بازلتية (باللون البرتقالي) تمتد من بداية البروفيل في بعض الأجزاء إلى عمق يتراوح من 7 إلى 8 متر.
- صخور بازلتية (باللون البني) حاوية على شقوق وفراغات فارغة أو تحوي على توضعات غضارية أو مياه راشحة في حال وجودها، تقع على عمق يتراوح مابين 8 إلى 10 متر.

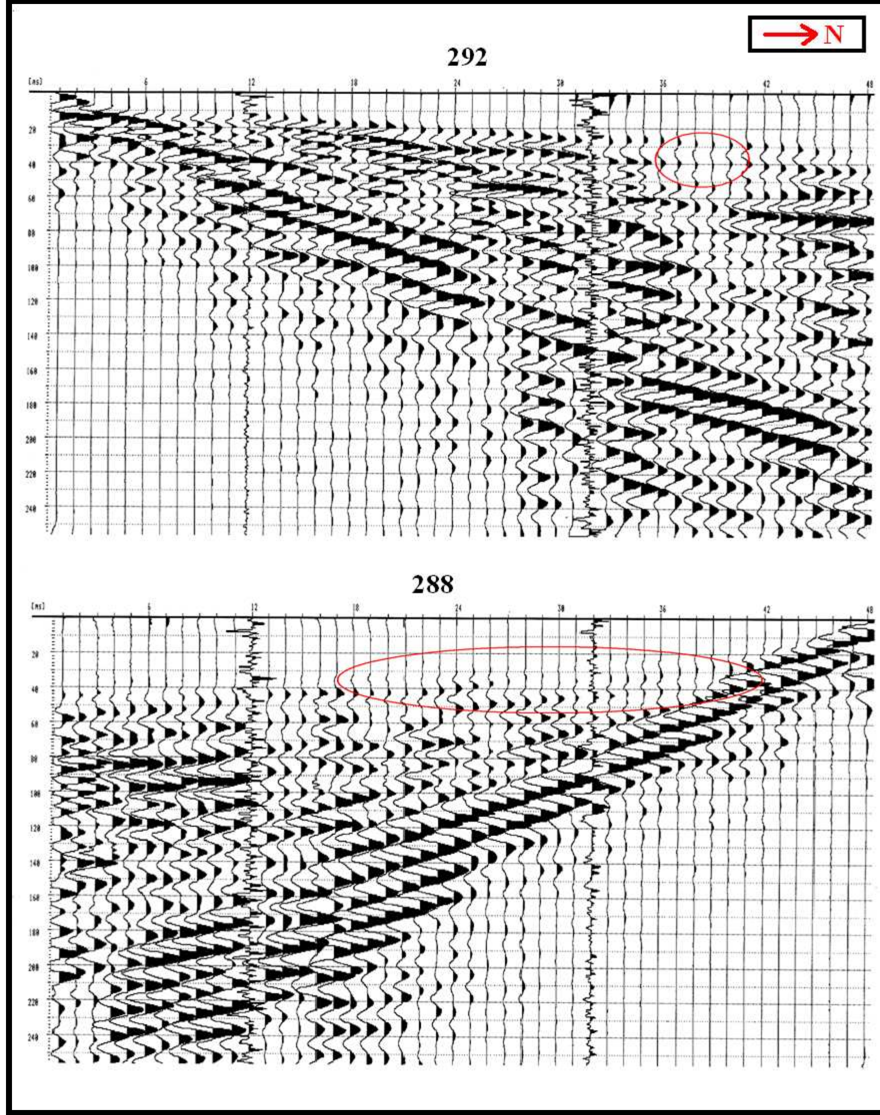
البروفيل الرابع

يقع هذا البروفيل عند نهاية البحيرة ويأخذ منحى شمال– جنوب تقريبا. يغطي هذا البروفيل، البروفيل الكهربائي السابع عشر كما يظهر في الشكلين (29) و(30). يرتفع هذا البروفيل بحدود 1.5 متر فوق منسوب التخزين المائي الأعظمي للسد و بحدود 9.5 متر فوق منسوب قاع البحيرة، وبحدود 8 متر فوق منسوب التخزين المائي في السد أثناء قياسه.

تم تقسيم هذا البروفيل إلى ثلاثة مجموعات، تتكون كل مجموعة من 48 لاقط ، التباعد فيما بينها من $\Delta x = 1m$. تم إصدار الطاقة في كل مجموعة من الطرفين ومن الوسط، مع تكديس شاقولي للطاقة من المنبع ست مرات، وقد بلغ طول التسجيل الزمني 256 ms ضمن مجال من الترددات يتراوح مابين 15 Hz إلى 250 Hz.



الشكل 88 : مخطط يبين نظام الرصد من حيث توزع المنابع و اللواقط ضمن البروفيل الرابع
▼ - منبع. I - لاقط.



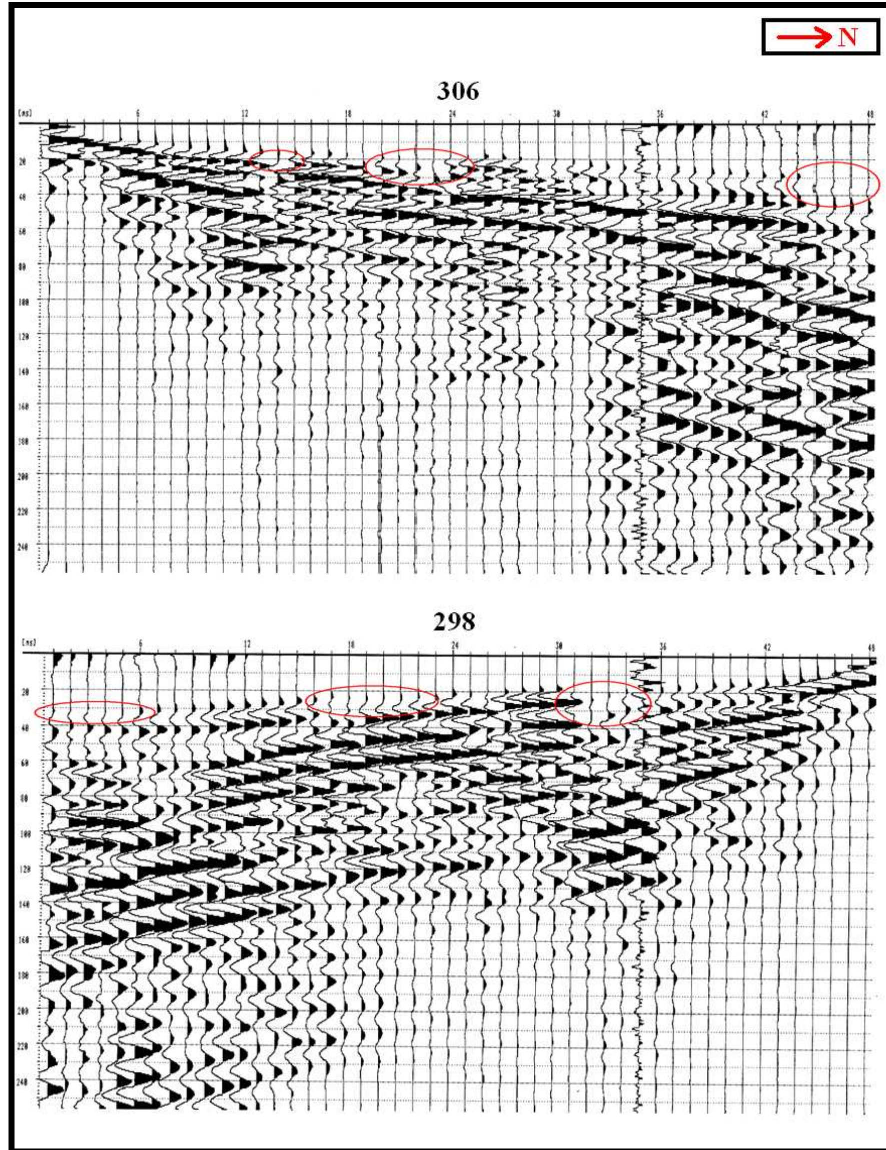
الشكل 89: المجموعة الأولى من البروفيل السيزمي الرابع

يعطي التحليل المباشر للمجموعة الأولى النتائج الآتية:

- النطاق الأول : تتراوح سماكته بين 0.5 متر و 1.5 متر وتبلغ سرعة الأمواج السيزمية فيه $300\ m.s^{-1}$، وهي تتوافق مع السرعة في التربة الزراعية.
- النطاق الثاني :يتكون هذا النطاق من التوضعات الغضارية التي تحوي على نسب محدودة من الحصى والحجارة البازلتية، وتتراوح السرع السيزمية فيه بين $1200\ m.s^{-1}$ و $1500\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 6.5 متر و 9 متر.
- النطاق الثالث : تتراوح السرع السيزمية في هذا النطاق بين $2000\ m.s^{-1}$ و $3000\ m.s^{-1}$، وهذا هو مجال السرع السيزمية الطبيعي للصخور البازلتية الحاوية على شقوق وفراغات، والتي من المحتمل أن تكون حاوية عل مياه راشحة.

يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 30 إلى 40 متر من المنبع في الجزء العلوي من الشكل السابق، حيث يلاحظ وجود ضعف في السطوح الكاسرة على عمق يتراوح ما بين 6 إلى 9 متر، بينما يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 24 إلى 36 متر من المنبع إضافة إلى ملاحظة تشوه في الوصولات الأولية على بعد 36 متر إلى 47 متر في الجزء السفلي من الشكل السابق.

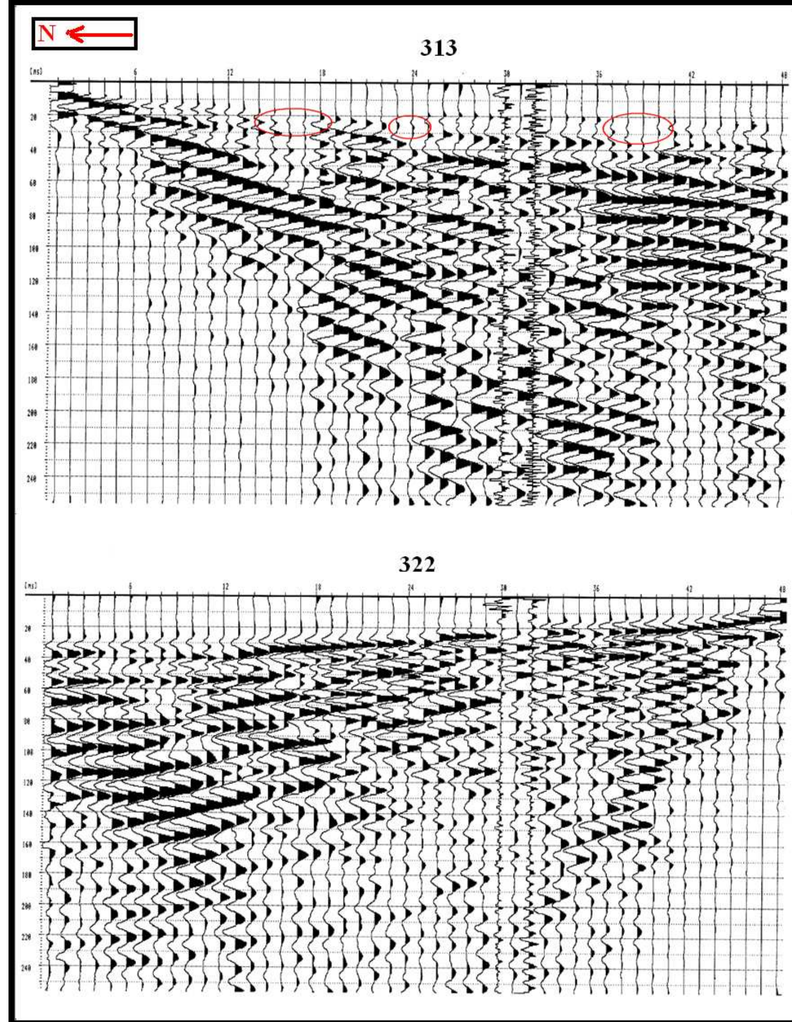
أما تحليل معطيات المجموعة الثانية يؤدي إلى النتائج الآتية:



الشكل 90 : المجموعة الثانية من البروفيل السيزمي الرابع

- النطاق الأول : يتكون من تربة زراعية تبلغ سرع الأمواج السيزمية $200\ m.s^{-1}$ وتبلغ سماكته تتراوح بين 0.7 متر و 1 متر.
- النطاق الثاني: ذو سرعة تتراوح بين $750\ m.s^{-1}$ و $1200\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 4 متر و 7 متر، وهذا النطاق يتكون بشكل عام من الحصى والحجارة البازلتية التي تحوي على نسب مختلفة من التوضعات الغضارية.
- النطاق الثالث : نطاق بازلتي قاسي تتراوح سرع الأمواج السيزمية فيه بين $3000\ m.s^{-1}$ و $4000\ m.s^{-1}$.

يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 21 متر إلى 24 متر من المنبع في الجزء العلوي من الشكل السابق، بينما يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 12 متر إلى 18 متر من المنبع إضافة إلى ملاحظة تشوه في الوصولات الأولية على بعد 22 متر إلى 30 متر في الجزء السفلي من الشكل السابق.

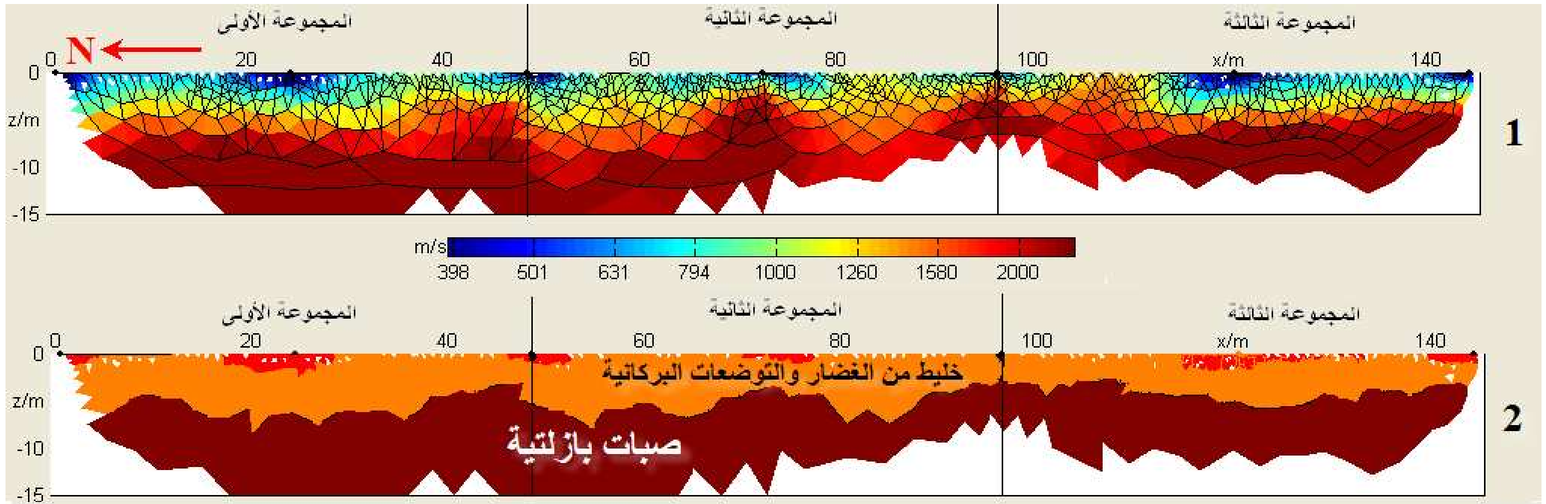


الشكل 91: المجموعة الثالثة من البروفيل السيزمي الرابع

يبين الشكل السابق وجود النطاقات الآتية:

- النطاق الأول :تربة زراعية ذات سرع تتراوح بين $200\ m.s^{-1}$ و $300\ m.s^{-1}$ وتبلغ سماكته 0.7 متر تقريباً.
- النطاق الثاني : تتراوح سرع الأمواج السيزمية بين $1000\ m.s^{-1}$ و $1350\ m.s^{-1}$ وسماكته تتراوح بين 3 متر و 5 متر، وهو مكون من التوضعات الغضارية التي تحوي على نسب محدودة من الحصى والحجارة البازلتية.
- النطاق الثالث : تتراوح سرع الأمواج السيزمية في هذا النطاق بين $2000\ m.s^{-1}$ و $3000\ m.s^{-1}$، وهي تنتج بشكل عام عن نطاق بازلتي حاوي على شقوق وفراغات.

يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 14متر إلى 18 متر وعلى بعد 38 متر إلى 40 متر من المنبع إضافة إلى ملاحظة تشوه في الوصولات الأولية على بعد 35 متر إلى 45 متر في الجزء العلوي من الشكل السابق، بينما يلاحظ وجود ضعف في الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة على بعد 15 متر إلى 20 متر وعلى بعد 36 متر إلى 42 متر من المنبع في الجزء السفلي من الشكل السابق.



الشكل 92: 1- السرع السيزمية الحقيقية للبروفيل الرابع
2- المقطع الجيولوجي الناتج عن السرع السيزمية في البروفيل الرابع

يظهر من خلال هذا الشكل أن السرع السيزمية الحقيقية لمجموعات البروفيل السيزمي الرابع الثلاث ، تتراوح ما بين$350\ m.s^{-1}$ و $2500\ m.s^{-1}$ ابتداءً من سطح الأرض وحتى عمق يصل إلى حدود 15 متر.

تعبر السرع السيزمية في البروفيل الرابع عن وجود التوضعات الجيولوجية الآتية:

- تربة زراعية (باللون الأحمر) تتركز في بعض الأجزاء العلوية من البروفيل سماكاتها من 0 إلى 2 متر.

- توضعات مكونة من خليط من التوضعات الغضارية إضافة إلى الصخور البركانية التي تتكون من رماد بركاني و حصى وحجارة بازلتية (باللون البرتقالي) تحيط بالنطاق السابق وتمتد إلى أعماق تراوح من 5 إلى 6 متر في بعض الحالات.
- صخور بازلتية (باللون البني) حاوية على شقوق وفراغات فارغة أو تحوي على توضعات غضارية أو مياه راشحة في حال وجودها، تتراوح أعماقها من سطح الأرض في بعض أجزاء البروفيل إلى عمق 15 متر تقريباً.

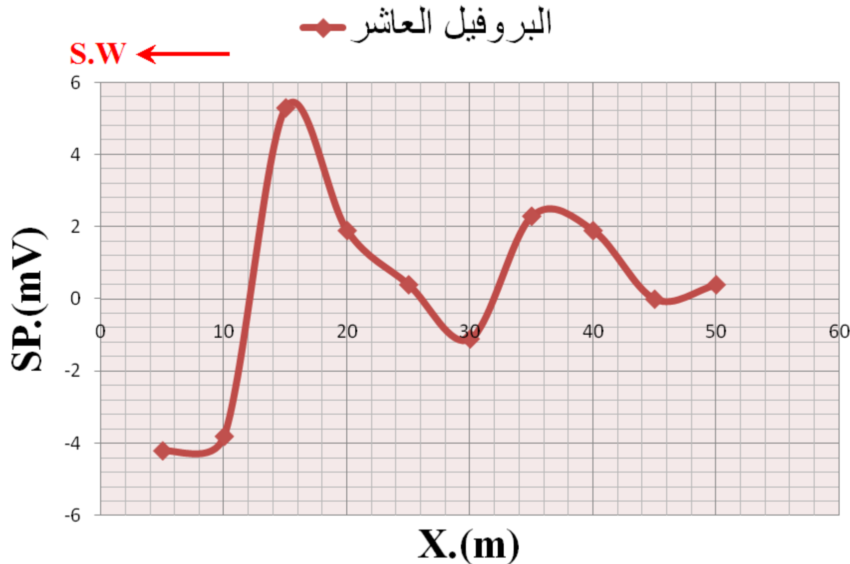
4.2.4. القياسات الجيوكهربائية بالقرب من تل مريم

يشكل تل مريم الكتف الشرقي لبحيرة التخزين، وللتحري عن وجود نطاقات راشحة في هذا الموقع نفذت القياسات الجيوكهربائية الآتية:

4.2.4.1. قياسات الكمون الذاتي

- **البروفيل العاشر :**

ينطبق هذا البروفيل تماماً على المسح الكهربائي الأفقي - الشاقولي الثامن عشر، ويتألف من 10 محطات قياس لقيم الحقل الكلي للكمون الذاتي ، وتبعد كل محطة عن الأخرى مسافة 5 متر.



الشكل93: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل العاشر

يظهر في هذا الشكل ثلاث شاذات أساسية، يقع الأول منها في بداية البروفيل وهو ذو مطال سالب قيمته 4 m.V - ، أما الشاذ الثاني فهو موجب وقيمته +5 m.V ويقع على بعد 15 متر من المحطة المرجع، ويرجح أن هذين الشاذين ناتجين عن نطاق تماس بين

التوضعات الغضارية و الصخور البركانية، أما الشاذ الثالث فهو أقل أهمية ويقع على بعد 37 متر تقريباً من المحطة المرجع ،و تبلغ قيمته +2 m.V ، وهو يعبر بشكل عام عن وجود مواد غضارية في هذا الجزء من البروفيل.

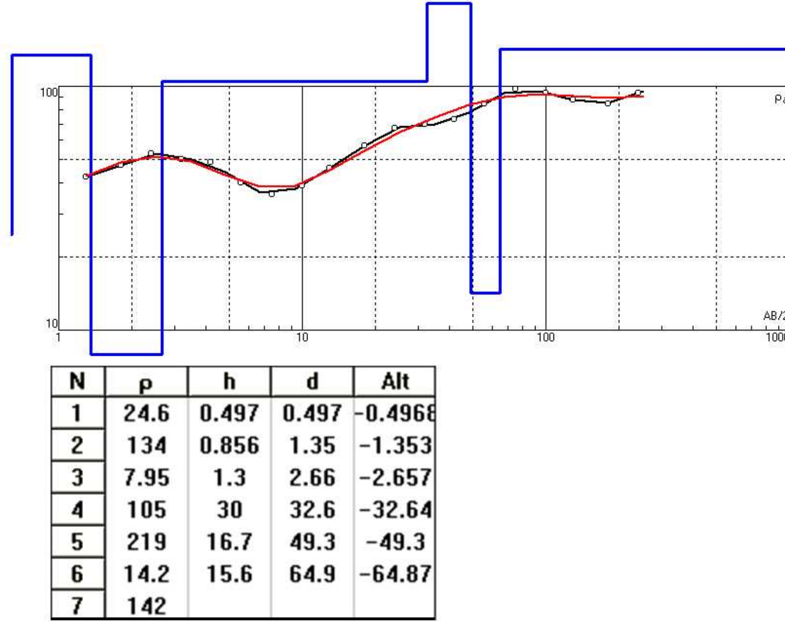
4.2.4.2. قياسات السبر الكهربائي الشاقولي

تم تنفيذ ثلاثة سبور شاقولية في محيط تل مريم هي على التوالي السبر السادس، السبر السابع، السبر الثامن .

- **السبر السادس:**

نفذ هذا السبر بتباعدات محددة بين مساري التيار تبدأ بالقيم AB/2=1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=240m.

يمكن من خلال التفسير الكمي لهذا السبر تميز سبعة نطاقات مختلفة (موضحة بالجدول المرفق) ، وهي على العموم تمثل توضعات غضارية منخفضة المقاومية تصل في النطاق الثالث إلى 8 Ω.m تقريباً تمثل على الأغلب وسط غضاري رطب تتناوب مع توضعات بازلتية فاسدة وأحيانا تكون على شكل رمال بازلتية تصل مقاوميتها الكهربائية في النطاق الخامس حتى Ω.m 219 .



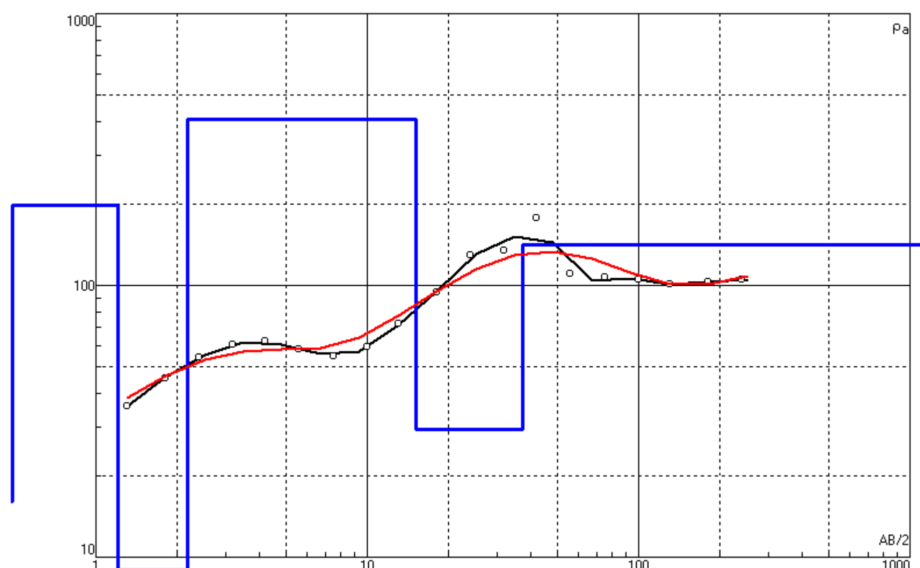
N	ρ	h	d	Alt
1	24.6	0.497	0.497	-0.4968
2	134	0.856	1.35	-1.353
3	7.95	1.3	2.66	-2.657
4	105	30	32.6	-32.64
5	219	16.7	49.3	-49.3
6	14.2	15.6	64.9	-64.87
7	142			

الشكل 94: السبر الكهربائي الشاقولي السادس

- **السبر السابع:**

نفذ هذا السبر بالقرب من السبر السابق وبنفس التباعدات بين مساري التيار .وهنا تم في هذا السبر تميز ستة نطاقات مختلفة، هي عملياً تشكل تناوبات غضارية مع نطاقات بازلتية فاسدة تصل مقاوميتها الكهربائية في النطاق الرابع حتى 408 Ω.m وهي تمثل

توضعات بازلتية فاسدة وتحوي على نسب مختلفة من الغضار، كما يمكن من حيث المبدأ أن تكون قيم المقاومية الكهربائية المنخفضة ناتجة عن إشباع مائي لمياه راشحة ضمن هذا النطاقات ، إلا أنه يصعب تأكيد ذلك من خلال هذه القياسات .

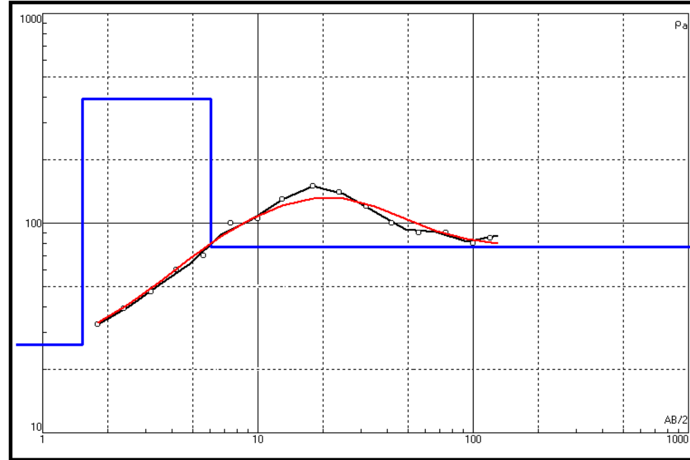


N	ρ	h	d	Alt
1	16	0.411	0.411	-0.4108
2	197	0.795	1.21	-1.206
3	8.97	0.97	2.18	-2.176
4	408	12.9	15.1	-15.12
5	29.5	22.3	37.4	-37.38
6	141			

الشكل 95 : السبر الكهربائي الشاقولي السابع

♦ السبر الثامن:

يقع السبر الكهربائي الثامن في أسفل الكتف الأيمن بالقرب من قاع البحيرة ، تبدأ تباعدات مساري التيار لهذا السبر بالقيم AB/2=1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=120m .

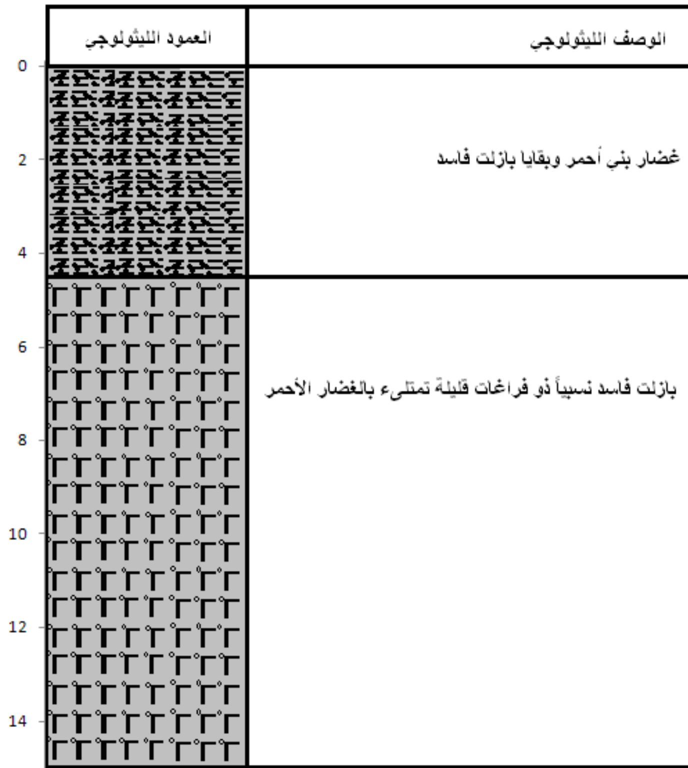


N	ρ	h	d	Alt
1	26.3	1.53	1.53	-1.533
2	391	4.51	6.05	-6.047
3	77			

الشكل 96 : السبر الكهربائي الشاقولي الثامن

يدل التفسير الكمي لهذا السبر على وجود ثلاثة نطاقات رئيسية ، تكون قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الأول منخفضة نسبياً بحدود 26 Ω.m وسماكته بحدود 1.5 متر ، وهو عبارة عن توضعات سطحية غضارية ، ترتفع بعد ذلك قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الثاني لتصل إلى حدود 391 Ω.m ضمن سماكة تبلغ 4.5 متر تقريباً، وهذا الارتفاع في المقاومية يعود لوجود خليط من الغضار مع الصخور البركانية، ثم تنخفض قيم المقاومية الكهربائية ثانية لتصبح بحدود 77 Ω.m ضمن النطاق الثالث.

بناء عليه يمكن القول أن السبور الكهربائية الشاقولية في تل مريم أدت إلى تميز نطاق ذو مقاومية كهربائية مرتفعة نسبياً مكون على الأغلب من بازلت فاسد ورمال بركانية وحصى مع مواد غضارية بنسب كبيرة نسبياً في بعض الأحيان كما تشير معطيات السبر الميكانيكي B_8 الشكل (97) ، يجاور هذا النطاق في الأعلى والأسفل مع توضعات منخفضة المقاومية يغلب عليها الطابع الغضاري .



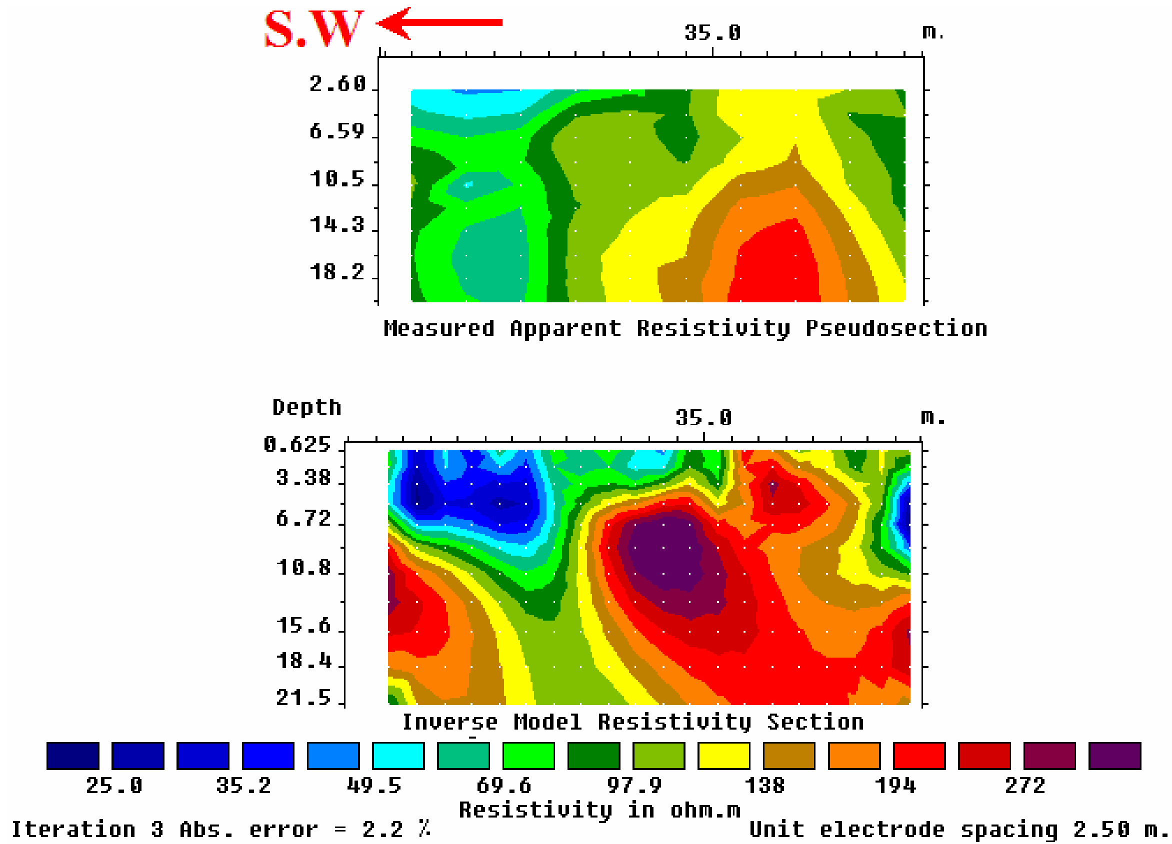
الشكل97: السبر الميكانيكي B_8 ، [3]

4.2.4.3. قياسات المسح الكهربائي الأفقي- الشاقولي

نفذ في موقع تل مريم بروفيلين للطريقة المسح الكهربائي الأفقي –الشاقولي، هما البروفيل الثامن عشر و البروفيل التاسع عشر .

- **البروفيل الثامن عشر:**

يقع هذا البروفيل على سفح تل مريم ويأخذ اتجاه جنوب غرب – شمال شرق . يبلغ طول هذا البروفيل 45 متر ويتألف من 10 محطات قياس تبعد عن بعضها مسافة 5 متر.

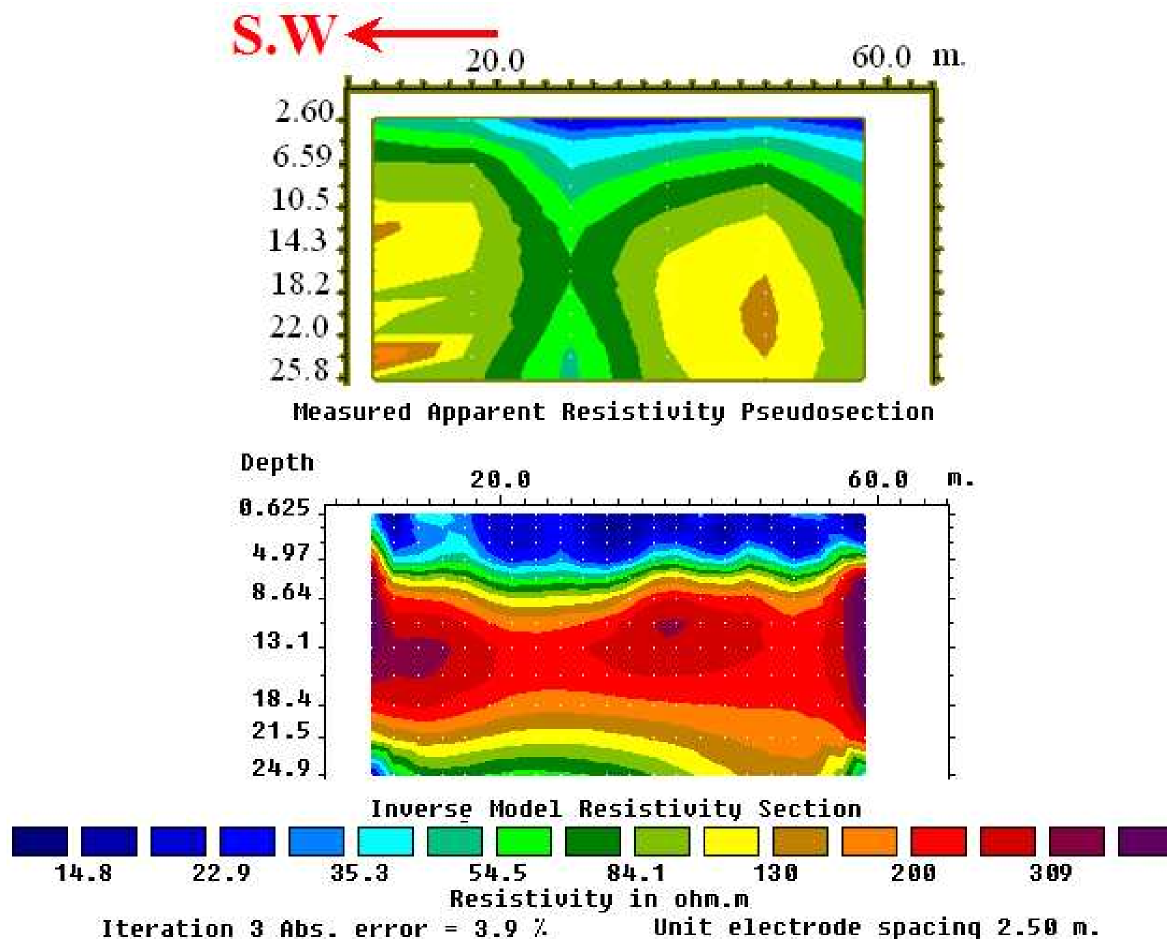


الشكل98: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي ـالشاقولي الثامن عشرـتل مريم

يلاحظ من خلال هذا الشكل وجود خليط من المواد الغضارية والبازلت الفراغي الفاسد تتوزع ضمن حيز الدراسة بشكل عشوائي ، حيث تتوضع المواد الغضارية ذات المقاوميات الكهربائية المنخفضة نسبياً (Ω.m 20) على تماس مع البازلت الفاسد الحاوي أيضاً على نسب عالية من الغضار، وهذا ما يفسر انخفاض المقاومية الكهربائية للبازلت في هذا الموقع من Ω.m 200 إلى Ω.m 300 تقريباً .
إن احتمال وجود مياه راشحة في هذا النطاق يبقى أمراً مستبعداً لأن الوسط بمجملة غضاري كتيم بما فيه البازلت الفراغي الممتلئ بالغضار الأحمر كما تشير معطيات السبر الميكانيكي B_8 .

- **البروفيل التاسع عشر:**

يقع هذا البروفيل أيضاً على سفح تل مريم بشكل موازٍ للبروفيل الثامن عشر وعلى بعد 20 متر منه باتجاه البحيرة، كما يبعد بحدود 5 متر تقريباً عن مياه البحيرة وهو بطول 50 متر.



الشكل99: نتائج البروفيل الكهربائي الأفقي ـالشاقولي التاسع عشرـتل مريم

تشير نتائج هذا البروفيل إلى وجود نطاقات غضارية في أعلى وأسفل المقطع ذات مقاومية كهربائية منخفضة جداً تصل حتى Ω.m 10 وتتراوح سماكتها في الجزء العلوي بين 4-5 أمتار تقريباً وهي من الغضار الصرف الناتج عن فساد البازلت، تليها توضعات البازلت الفراغي الحاوي على نسب عالية من الغضار والغير متجانس بسبب اختلاف درجة الفساد من مكان لأخر، وتصل قيم المقاومية الكهربائية العظمى في هذا النطاق إلى 400 Ω.m.

يلاحظ من خلال هذه القياسات أن الصخور البازلتية في تل مريم يتميز بشكل عام بمقاومية كهربائية منخفضة إذا ما قورنت بمقاومية الصخور البازلتية التي تقع في الكتف الغربي للبحيرة ، وهذا يعود إلى درجة الفساد والتحولات الكيميائية الأكبر التي حصلت ضمن البازلت في هذا الموقع مقارنة بمثيلتها في الكتف الغربي، وهذا الأمر يظهر بشكل واضح للعيان في التكشفات السطحية في تل مريم حيث يغلب عليها الطابع الغضاري البني الأحمر والرمال البازلتية .

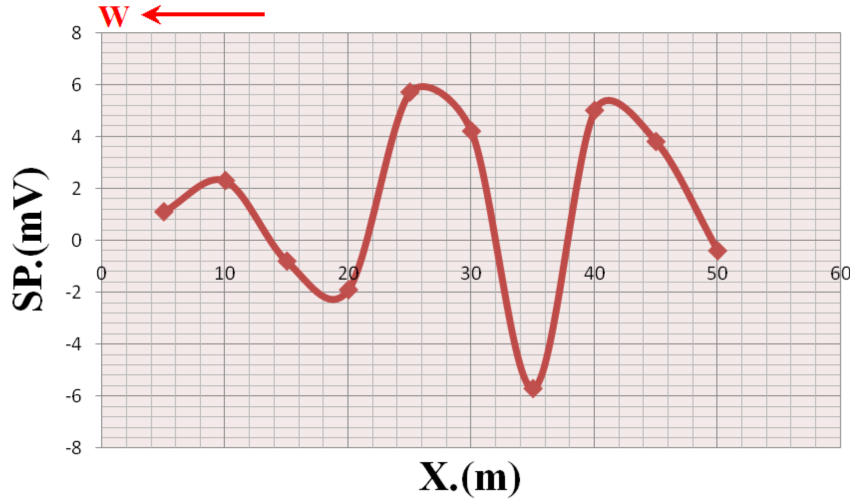
4.2.5. القياسات الجيوكهربائية على الكتف الجنوبي

نظراً لعدم أهمية الكتف الجنوبي من الناحية الرشحية فقد اقتصرت الدراسة الجيوكهربائية في هذا الموقع على تنفيذ القياسات الآتية:

4.2.5.1. قياسات الكمون الذاتي

- **البروفيل التاسع:**

يقع هذا البروفيل في الطرف الجنوبي للبحيرة ويأخذ منحى غرب – شرق، ويتكون من 10 محطات لقياس الحقل الكلي للكمون الذاتي البعد فيما بينها 5 متر.



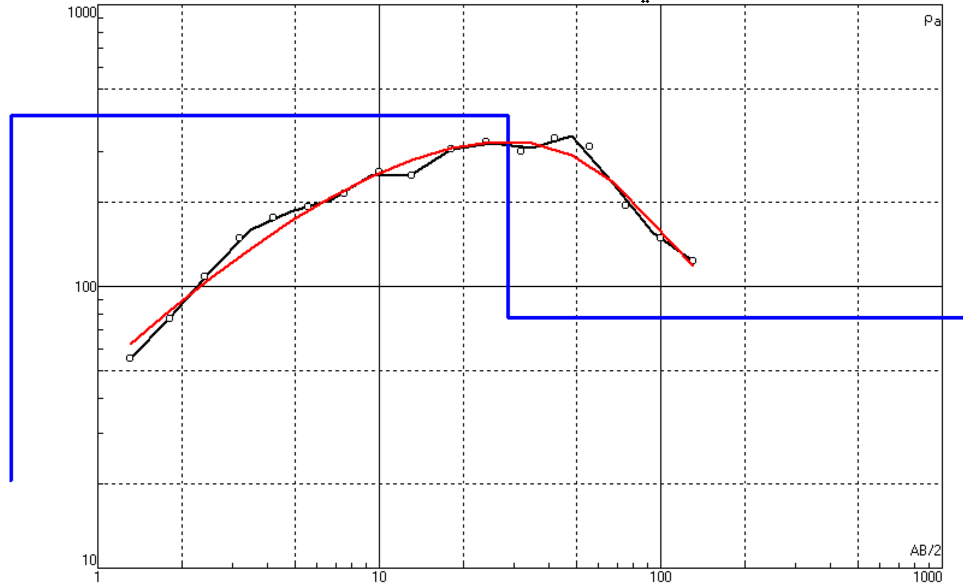
الشكل100: قياسات الكمون الذاتي على امتداد البروفيل الحادي عشر

يُظهر منحني الكمون الذاتي في هذا الموقع قيماً متذبذبة تتراوح بين +6 m.V و -6 m.V ، وهي تدل بشكل عام على وجود تناوبات غضارية مع نطاقات بازلتية .

.4.2.5.2 قياسات السبر الكهربائي الشاقولي

♦ السبر التاسع:

نفذ هذا السبر بالتزامن مع السبور الشاقولية السابقة و بتباعدات بين مساري التيار تبدأ بالقيم AB/2=1.3 m وتنتهي بالبعد AB/2=120m .



N	ρ	h	d	Alt
1	20.5	0.372	0.372	-0.3722
2	405	28.4	28.8	-28.75
3	77.6			

الشكل101: السبر الكهربائي الشاقولي التاسع

يظهر التفسير الكمي لهذا السبر وجود ثلاث نطاقات رئيسية ، تبلغ قيم المقاومية الكهربائية في النطاق الأول بحدود 20 Ω.m وسماكته بحدود 4. 0 متر وهو يعبر عن وجود توضعات غضارية بشكل عام، ترتفع بعد ذلك قيم المقاومية الكهربائية بشكل ملحوظ لتصل إلى حدود 400 Ω.m في النطاق الثاني ضمن سماكة تبلغ 28 متر ، بعد ذلك تنخفض قيم المقاومية الكهربائية تدريجياً حتى تصل إلى حدود 77 Ω.m في النطاق الثالث . ومن المحتمل أن يكون سبب انخفاض قيم المقاومية في النطاق الثالث وجود مياه راشحة ضمن فراغات الرمال والحصى البازلتية.

5. النتائج و التفسيرات

5.1. نتائج قياسات الكمون الذاتي

تم في منطقة الدراسة تنفيذ 12 بروفيل بطريقة الكمون الذاتي موزعة على الكتف الغربي، الكتف الجنوبي ، تل مريم ، والبحيرة يمكن تلخيص نتائجها كما يلي :

يلاحظ أن قيم الشاذ في منطقة الدراسة لا تتجاوز قيمة 11 ± m.V وهي قيم متدنية نسبياً أذا ما قورنت بالقيم التي تعبر عن كمونات الرشح الواردة في عدد من الدراسات السابقة [8.29.31]، لهذا يمكن القول أن هذه الشاذ في حال كانت ناتجة عن رشح للمياه فإن هذا الرشح هو رشح خفيف للمياه عبر فراغات الصخر، ولا تعد مؤشراً هاماً على رشح كبير يؤدي لفقدان كميات كبيرة من مخزون السد.

تنتج معظم شاذات الكمون الذاتي المسجلة في منطقة الدراسة عن حالة عدم تجانس ضمن التشكيلات الجيولوجية وخاصة حالة تماس التوضعات الغضارية مع الصخور البركانية إضافة إلى وجود الرمل البركاني و الحصى والكتل البازلتية الحاوية على شقوق وفراغات، وهذا ما تدعمه نتائج العديد من الدراسات السابقة [14.27.28.37] .

5.2. نتائج قياسات المقاومية الكهربائية

5.2.1. نتائج قياسات المسح الكهربائي الأفقي

تم تنفيذ 3 بروفيلات بطريقة المسح الكهربائي الأفقي ضمن البحيرة بهدف معرفة سماكة وامتداد التوضعات الغضارية الكتيمة في البحيرة . وحُدد زمن تنفيذ هذه البروفيلات في شهر تشرين الأول عام 2008 أي في فصل الجفاف حيث كانت البحيرة فارغة من المياه .

أشارت هذه القياسات إلى وجود توضعات غضارية كتيمة بشكل عام بلغت سماكتها في عدد من المواقع بحدود 6 متر، ولوحظ وجود سماكات أكبر للتوضعات الغضارية في موقع السبر الميكانيكي B_{11} المنفذ وسط البحيرة ، حيث دلت المعطيات على وجود 15 متر من المواد الغضارية، وبناء عليه يستبعد وجود رشح من خلال قطاع البحيرة .

5.2.2. نتائج قياسات السبر الشاقولي

تم تنفيذ 9 سبور شاقولية بتشكيل شلمبرجير- Schlumberger ضمن منطقة الدراسة موزعة على الكتف الغربي والبحيرة والكتف الجنوبي وتل مريم .

بناءً على نتائج التفسير الكمي ومقارنتها مع معطيات السبور الميكانيكية في منطقة الدراسة يمكن بشكل عام تميز وجود النطاقات الآتية :

- النطاق الأول: مقاوميته أقل من 60 Ω.m

يتواجد هذا النطاق في كل السبور الكهربائية الشاقولية المنفذة ، وهو نطاق غضاري بشكل عام يحتوي في معظم الأحيان على نسب متباينة من الرمال والحصى البازلتية .

- النطاق الثاني: مقاوميته أكبر من 60 Ω.m وأقل من 500 Ω.m

يمثل هذا النطاق توضعات على شكل خليط من الرمال والحصى البازلتية مع الغضار أحياناً .

- النطاق الثالث : مقاوميته أكبر من 500 Ω.m وأقل من 1000 Ω.m

يمثل هذا النطاق في معظم الحالات بازلت فراغي فاسد مع وجود نسب محدودة من الغضار ضمنه.

- النطاق الرابع : مقاوميته أكبر من 1000 Ω.m

يتواجد هذا النطاق في كل السبور الكهربائية الشاقولية المنفذة على الكتف الغربي وهو بشكل عام نطاق بازلتي قد يكون أصم قاسي وقد يكون بازلت مع فراغات وفجوات بمقاييس مختلفة .

بناء عليه يمكن أن تكون النطاقات الثلاثة الأخيرة راشحة بدرجات متفاوتة في حال ارتفاع منسوب المياه في البحيرة إلى مستوى التخزين الأعظمي .

5.2.3. نتائج قياسات المسح الكهربائي الدائري

تم تنفيذ 6 قياسات دائرية بتشكيل شلمبرجير- Schlumberger على الكتف الغربي وضمن البحيرة يلاحظ من خلالها ما يلي :

عدم وجود اتجاه واضح لعدم التجانس أو التشقق ضمن الكتف الغربي للبحيرة بشكل عام ، وهذا بسبب وجود توضعات مفككة مكونة من الرمال و الحصى البازلتية أو البازلت الفراغي الذي لا يحتوي على نظام شقوقي معين .

تطابق نتائج السبور الدائرية المنفذة ضمن البحيرة بالقرب من الكتف الغربي مما يدل على تجانس التوضعات الغضارية الموجودة في البحيرة .

5.2.4. نتائج قياسات طريقة المسح الكهربائي الأفقي -الشاقولي

تعد قياسات السبور الكهربائية الأفقية -الشاقولية الجزء الرئيسي في هذه الدراسة ، لهذا نفذ 19 بروفيل بتشكيل وينر- شلمبرجير Wenner- Schlumberger تتوزع على جسم السد ، الكتف الغربي ، تل مريم ، ولكن بما أن كمية الوارد المائي الناتج عن الأمطار والثلوج خلال الأعوام التي نفذت فيها هذه الدراسة كانت قليلة نسبياً فقد اقتصرت القياسات على تحديد التوضعات المخلخلة والمشققة في المنطقة والتي يمكن أن تكون توضعات راشحة في حال وصول المياه إليها.

بناءً على نتائج هذه السبور تم تميز ثلاثة نطاقات رئيسة تكررت في معظم المقاطع الجيوكهربائية المنفذة على الكتف الغربي بشكل رئيسي وهي على التوالي :

- نطاق علوي سطحي غضاري مقاوميته الكهربائية منخفضة أقل من 60 Ω.m و يصل لعمق 5- 6 أمتار.

- نطاق أوسط بازلتي عالي المقاومية الكهربائية تزيد في بعض المواقع عن 1500 Ω.m ويصل لعمق وسطي يتراوح بين 15-17 متر، وقد يكون هذا النطاق فراغي أو مشقق مع وجود فجوات أحياناً أي راشح في حال وصول المياه إليه .
- نطاق سفلي رملي غضاري مقاوميته الكهربائية منخفضة أيضاً أقل من 70 Ω.m ، وهو نطاق مؤكد أنه ذو طبيعة غضارية أي غير راشح .

5.3. نتائج القياسات السيزمية الإنكسارية:

تم تنفيذ أربعة بروفيلات سيزمية إنكسارية على الكتف الغربي، وبناءً على تصنيف نتائج السرع المقاسة تم تميز النطاقات الآتية:

- النطاق الأول : تتراوح السرعة في هذا النطاق ما بين $m.s^{-1}$ 100 إلى $m.s^{-1}$ 500 وهو يمثل نطاق التربة الزراعية المكونة من الغضار
- النطاق الثاني: تتراوح السرعة في هذا النطاق ما بين $m.s^{-1}$ 500 إلى $m.s^{-1}$ 1000 وهو يمثل خليط من الحصى والحجارة البازلتية المفككة مع التوضعات الغضارية [36].
- النطاق الثالث: تتراوح السرعة في هذا النطاق ما بين $m.s^{-1}$ 1000 إلى $m.s^{-1}$ 1500 يمثل هذا النطاق بشكل رئيسي التوضعات الغضارية المرصوصة إضافة إلى وجود نسب مختلفة من الرمال البازلتية ضمن التوضعات الغضارية [24].
- النطاق الرابع: تتراوح السرعة في هذا النطاق ما بين $m.s^{-1}$ 1500 إلى $m.s^{-1}$ 3500 وهو نطاق بازلتي حاوي على شقوق وفراغات يمكن أن تشكل ممرات للمياه في حال وصلت إليها[35].
- النطاق الخامس: تزيد السرعة في هذا النطاق عن $m.s^{-1}$ 3500 وهو نطاق الصخور البازلتية القاسية المتماسكة التي تتناقص نسبة الشقوق الموجودة فيها بشكل كبير [44].

بناءً على نتائج القياسات السيزمية الإنكسارية المنفذة ومقارنتها مع نتائج السبر الكهربائي فإنه يمكن القول أنه لا توجد مؤشرات واضحة على وجود مياه راشحة ضمن الصخور البازلتية في المنطقة ، كما يعتبر ضعف أو غياب الوصولات الأولية للسطوح الكاسرة ضمن البروفيلات السيزمية دلالة واضحة على أن مجمل الصخور البازلتية الموجودة في منطقة الدراسة تحوي على شقوق وفراغات، هذا بالإضافة إلى نطاقات الحصى والحجارة البازلتية المفككة التي يمكن أن تنتج عنها أيضاً تلك المؤشرات السابقة.

6. خاتمة

- تشكل التوضعات الغضارية أو التي يغلب عليها الطابع الغضاري التوضعات الكتيمة في منطقة الدراسة.
- تشكل الصخور البازلتية الحاوية على شقوق أو فراغات أو فجوات، إضافة إلى الصخور البركانية المكونة من الرمال أو الحصى أو الحجارة المفككة التي تحوي على نسب منخفضة من الغضار التوضعات الراشحة في منطقة الدراسة.
- بناءً على الدراسة الجيوفيزيائية المنفذة في منطقة الدراسة ، والمشاهدة الحقلية خلال فترة التنفيذ ، وبناءً على الدراسات السابقة المنفذة لسدود مشابهة في طبيعتها لسد سهوة الخضر، يمكن القول بشكل عام أن التوضعات الراشحة عملياً موجودة فقط في الكتف الغربي كما دلت المعطيات الآتية:
- يلاحظ أن قيم المقاوميات الكهربائية و السرع السيزمية للتوضعات الجيولوجية التي يمكن أن تكون راشحة في حال ارتفعت المياه إلى منسوب عالي نسبياً في السد متركزة في الكتف الغربي .

I. يعود العمر الجيولوجي للكتف الغربي إلى الهولوسين والبليستوسين [2] وهو بذلك أحدث من عمر التوضعات الموجودة في البحيرة حيث تعود أعمارها إلى البليوسين، وبناءً عليه فإن الصخور البازلتية ذات العمر الأحدث تكون فيها درجة الفساد أقل وبالتالي نسبة التوضعات الغضارية الكتيمة ضمنها أقل.

II. تشير معطيات السبور الميكانيكية $P_1.P_2.P_3.P_4.P_5.P_6$ المحفورة في الكتف الغربي إلى وجود توضعات جيولوجية حاوية على الرمل البركاني أو الحصى والحجارة المفككة والصبات البازلتية وهي تحوي على نسب منخفضة من التوضعات الغضارية هذا بالإضافة إلى وجود نطاقات فارغة على شكل فجوات ضمن الحصى والحجارة والصبات البازلتية، وكل هذه التوضعات تعتبر راشحة في حال وصول المياه إليها.

III. وجود شواهد حقلية تقع غرب البحيرة تتمثل بظهور بعض الينابيع عندما يرتفع مستوى المياه في البحيرة إلى مستوى عالي نسبياً من هذه الينابيع "المطخ"، وهذه الينابيع لم تلاحظ إلا في الجهة الغربية .

- لا تعتبر جميع التوضعات الراشحة المحتملة في الكتف الغربي ممرات للمياه وذلك بسبب تفاوت كمية التوضعات الغضارية الكتيمة التي تغطي هذه الصخور البركانية الراشحة، لأنه لا يكفي وجود التوضعات الراشحة المحتملة ضمن منطقة السد حتى يحصل الرشح، بل يجب أن يكون هناك اتصال ما بين مياه البحيرة و التوضعات الراشحة المحتملة، وهنا يأتي دور التوضعات الغضارية الكتيمة التي تغطي هذه التوضعات والتي تلعب دور العازل الذي يفصل بين مياه البحيرة وهذه التوضعات ، وقد لوحظ أن أكتاف البحيرة جميعها ترتفع بشكل متدرج يسمح ببقاء سماكات ليست قليلة من التوضعات الغضارية فوق التوضعات الراشحة المحتملة، وعلى هذا يمكن

القول أن الرشح يحدث فقط في الأماكن التي تتكشف فيها التوضعات الراشحة على الكتف الغربي وفي القسم العلوي منه لأن القسم السفلي مغطى بسماكات كبيرة نسبياً من التوضعات الغضارية التي تصل إلى أكثر من 2 متر في بعض الأحيان كما ثبت من خلال السبور الكهربائية الأفقية و الشاقولية المنفذة على هذا الجزء من الكتف الغربي و كذلك من خلال المشاهدات الحقلية.

- ❖ لم يسجل من خلال القياسات الجيوفيزيائية المنفذة على جسم السد وجود عدم تجانس في التوضعات الغضارية المكونة له ، الأمر الذي يقتضي عدم وجود رشح يذكر من خلال جسم السد .
- ❖ بناء على ما ذكر نوصي بما يلي :

I. أعادة قياس أحد بروفيلات المقاومية الكهربائية (السادس، السابع، الثالث عشر، الرابع عشر،الخامس عشر) المنفذة على الكتف الغربي عند ارتفاع منسوب المياه في البحيرة إلى المنسوب الأعظمي .

II. تنفيذ قياسات دورية للكمون الذاتي وربط تغير مركبة كمون الجريان مع تغير منسوب المياه في البحيرة .

III. حفر بئر على الكتف الغربي في منصف البروفيل الخامس عشر أو في بداية البروفيل الرابع عشر للتأكد من وجود شقوق وفجوات بحجوم كبيرة نسبياً يمكن أن تشكل ممرات للمياه ضمن التشكيلات البازلتية .

IV. مراقبة تغيرات مناسيب المياه في السبور الميكانيكية المحفورة في الكتف الغربي

V. عندما يرتفع منسوب المياه في البحيرة إلى مستويات عالية.

VI. التأكد سنوياً من حالة الغضار في الأجزاء الشاذة ضمن البروفيلات الجيوفيزيائية

7. فهرس الأشكال

8. المراجع العلمية

8.1. المراجع العربية

1. رسول آغا . واثق، 1993، البتروفيزياء. جامعة دمشق.
2. سلام . علي . ضامن، 2007، المذكرة الإيضاحية لخارطة سورية الجيولوجية، رقعة السويداء 1/50000 .
3. مشروع سد سهوة الخضر، 1984، تقرير شركة الدراسات المائية حمص، .
4. مكارم .كمال، 2006 ، دراسة جيولوجية للكتف الأيمن بواسطة السبور الميكانيكية : مديرية الموارد المائية السويداء.

8.2. المراجع الأجنبية

5 Al Dulaijan. K., 2008, Near-surface Characterization Using Seismic Refraction and Surface-wave Methods. A thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. DEPARTMENT OF GEOSCIENCE CALGARY, ALBERTA SEPTEMBER,.

6 Bernard. J., 2003, short note on the principle of geophysical methods for groundwater investigation. Definition of main hydrological parameters electrical methods for groundwater .Magnetic response methods for groundwater. Internet research Terraplus inc.

7 Boachev. A . ROBAIN .H., 2004, X2IPI.: 2D DC measurements with SYSCAL® equipment.

8 Bol`eve. A , Revil. A, Janod. F, Mattiuzzo. J. L, and Jardani. A., 2007, Forward Modeling and validation of a new formulation to compute self-potential signals associated with ground water flow. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1661–1671,.

9 Btayneh. A. T, Al-Zoubi. A. S, and Abu- Ajamieh. M., 2004, Geoelectrical Soundings and their Relationship to Channel Seepage Areas at Kaffrein Dam, Jordan. Journal for Applied Sciences 41: 28-37, 2004.ISSN 1607-8926. 2004 Asian Network for Scientific Information. Research and Studies Department, Faculty of Graduate Studies and Scientific Research, Al-Balqa-Applied University, Al-Salt 19117, Jordan Geohyten Corporation, Amman, Jordan.

10 Cromer. W. C, Donaldson. R. C., 1977, Site investigations at the

Bridgewater Sewerage treatment planet. 14(1-6) April.

11 Dahlin . T, and Zhou B., 2004, A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays, Australia Geophysical Prospecting, 52, 379–398.

12 Dahlin .T, Sjödahl .P, Johansson. S., and Friborg. J. 2003, long term resistivity and self potential monitoring of embankment dams. Experiences from Hällby and Sädva Dams, Sweden. CEATI Project No. T992700-0205 .Investigation of Geophysical Methods for Assessing Seepage and Internal Erosion in Embankment Dams.

13 Davenport G.G, Hadley L.M, and Randall. J.A., 2008, The Use of Seismic Refraction and Self Potential Surveys To Evaluate Existing Embankments internet research Terraplus inc.

14 Davenport. C, Rinne .E. E, and Zamora. A. M., 2008, Geotechnical Investigations For Corrosive Soils internet research Terraplus Inc.

15 El- Howard Mooers and Nigel Wattrus ., 2005, Report to Carlton County Planning and Zoning Results of Deer Creek Groundwater Seepage Investigation. Department of Geological Sciences University of Minnesota..

16 Gallardo. L. A., 2004, Joint Two-Dimensional Inversion of Geoelectromagnetic and OF GEOELECTROMAGNETIC AND Seismic Refraction Data with Cross-Gradient Constraint. A thesis submitted to LANCASTER UNIVERSITY for the degree of Doctor of Philosophy. Lancaster, England.

17 Gamal Z. Abdel Aal, Ahmed M. Ismail, Neil L. Anderson, and Estella A. Atekwana., 2003, Geophysical investigation of seepage from an earth fill dam, Washington County, MO. Dept. of Geology and Geophysics, University of Missouri-Rolla, Rolla, MO. 65409.

18 2D & 3D GEOTOMO SOFTWARE. 2008, RES2DINV ver. 3.57 for Windows 98/Me/2000/NT/XP/Vista. Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Wenner (a,b,g), dipole-dipole, inline pole-pole, poledipole, equatorial dipole dipole, offset pole-dipole, Wenner-Schlumberger, gradient and non-conventional arrays on land, water and cross-borehole surveys..

19 GUNTHER. T. Leibniz, L.R. BENTLEY, M. HIRSCH., 2006, A New Joint Inversion Algorithm Applied to the Interpretation of Dc Resistivity and Refraction Data.

20 G.Bievre and C. Norgeot ., 2005, A case study on the Canal du Center (France). On the use of geophysical methods for the characterization of earth dams.

21 Harris. J. B., 2002, Sallow seismic refraction investigation of the Big Greek Fault zone and its exploration into the Memphis, Tennessee, Aria: Collaborative research with Mississippi mineral resources. Institute, University of Mississippi..

22 Jansen. J, Billington .N, Snider. F, and Jurcek. P., 2008, Marine SP Surveys for Dam Seepage Investigations: Evaluation of Array Geometries Through Modeling and Field Trials internet research Terraplus inc.

23 Javier Olona-Allué., Javier A. Pulgar., 2008, Gabriela Fernández-Viejo. Juan M. González-Cortina. Geotechnical site characterization of a flood plain by refraction micro tremor and seismic refraction methods. Department of Geology, University of Oviedo. Oviedo, Spain CONSOLIDER Team “Topo-Iberia”..

24 Juan C., 2008, Montalvo-Arrieta, Patricia Cavazos-Tovar, Ignacio Navarro de León, Efraín Alva-Niño, Francisco Medina-Barrera. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Ex-Hacienda de Guadalupe, Apartado Postal 104, Linares N. L. 67700, México. Mapping Seismic Site Classes in Monterrey Metropolitan Area, northeast Mexico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 60, núm. 2, p. 147-157.

25 Kiełbasiński K., Mieszkowski R., 2008, Application of electrical resistivity tomography to detection of geological setting. Geologija. Vilnius. Vol. 50. Supplement. P. S101–S107. ISSN 1392-110X.

26 Lagmanson. M., 1997, Electrical Resistivity Imaging. Advanced Geosciences, Inc. San Antonio, October 24, 2005.

27 Look.M.H. 2-D and 3-D electrical imaging surveys 2004

28 lowrie. W Fundamentals of Geophysics. Institute of Geophysics. Swiss Fedral Institute of Technology. Zurich. Switzerland.203-217..

29 Mainali .G., 2006, Monitoring of Tailings Dams with Geophysical Methods. Luleå University of Technology. Department of Chemical Engineering and Geosciences. Division of Ore Geology and Applied Geophysics. Luleå, Sweden.

30 Marzan. I. Action Conter La Faim (ACF), 2007, Geophysical

Survet for Water Perspectives in an Arid Pastiral-Agropastoral context , Zone1 Afar Region in Ethiopia December 2005.

31 Moore. J. R, and Steven. , and Berkeley. G. Self-potential observations during hydraulic fracturing. University of California Post prints..

32 Moscow state university, 2001, Geological faculty. Dept. Of Geophysics. IPI2 win v.2.1,IPI_Res2, IPI_Res. Moscow-.

33 Olawale.O ,2007, Department of general studies, Fedral College of Agriculture, Akure, Nigeria. Michael.O, and Folami Samuel. department of Applied Geophysics, Federal University of technology, Akure, Nigeria. Geoelectric Studu of Dam Site of Federal College of Agriculture Akure Southwestren Nigeria. Research Journal of Applied Sciences 2(10):1048-1056, 2007. ISSN:1815-932X.C Medwell Journal.

34 Omosuyi. G.O, Ojo. J.S, 2008, Department of Applied Geophysics, Federal University of Technology, PMB 704, Akure, Ondo State, Nigeria, and Olorunfemi .M.O: Department of Geology, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria. Geoelectric Sounding to Delineate Shallow Aquifers in the Coastal Plain Sands of Okitipupa Area, Southwestern Nigeria. The Pacific Journal of Science and Technology. Volume 9. Number 2.

35 Palmström. A , Strömme .B., 1996, Application of Seismic Refraction Survey in Assessment of Jointing. Paper published in Conference on Recent Advances in Tunnelling Technology, New Delhi,.

36 Plessis. A., 2006, Global Geophysical. Lima Project: Seismic Refraction and Resistivity Survey. Final Report presented to Larry Pringle Associate (Geotechnical) BKS Engineering and Management. Report no0706/2006: Lima Project, Geophysical Investigation.

37 Poydenzakova .L., 1999, Electrical Properties of Soils. Doctoral Thesis -.Department of Renewable Resources, University of Wyoming, Laramie, WY.

38 Resistivity.net.,2008, Software.Ra2dTomo.

39 Reynolds .J . M. 1998, An introduction to applied and environmental geophysics, New York.

40 ROBERT .H, and GRIFFIN.D., 1995, geophysical exploration for engineering and environmental investigation. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000. EM 1110-1-1802. 31 August.

41 Rozycki .A, Ruiz Fonticiella. J.M, and Cuadra. A., 2006, Detection and evaluation of horizontal fractures in earth dams using the self-potential method. 9 February 2005. Engineering Geology 82 145– 153.

42 SHEFFER M. R., 2002,response of the self-potential method to challenge seepage condition in embankment dames. B.Sc., Queen's University, 1995.THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA April 2002.© Megan Rae Sheffer.

43 Steeples. D.W., Miller. R.D., .1990, Seismic Refraction Methods Applied to Engineering, Environmental, and Groundwater Problems, The University of Kansas, ISBN 1-56080-003I, 1-31; Tulsa.

44 Technos News, 2007,Concepts for Site Characterization, Geology-Geophysics–Hydrogeology. Geologic Characterization (cont.). fall.

45 Terziyska, V., Hock, S., 2009,Refraction Seismic Tomography Across the Earth-Fill Dam Prätisbach to decipher structural and saturated elements.